www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

5e JAARGANG NUMMER 2 FEBRUARI 1940

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

HET GEBRUIK VAN MODERNE STAALSOORTEN VOOR PERMANENTE MAGNETEN

door A. TH. van URK.

621.318.22 : 669.15.018.58

Om in een gegeven luchtspleet een bepaalde magnetische veldsterkte met zoo weinig mogelijk magneetstaal te verkrijgen, moet men de constructie van een magneet dusdanig kiezen, dat in het inwendige van het magneetstaal het product van inductie en veldsterkte zoo groot mogelijk is. Deze eisch leidt bij moderne magneetstalen met zeer hooge coërcitiefkracht en betrekkelijk lage remanentie tot geheel andere constructies dan bij de vroeger gebruikelijke staalsoorten met lage coërcitiefkracht en hooge remanentie. In dit artikel wordt uiteengezet, hoe men bij de constructie van een magneet te werk moet gaan. In het eerste gedeelte wordt de spreiding verwaarloosd; in het tweede gedeelte wordt een half empirische methode aangegeven om de spreiding in rekening te brengen.

Inleiding

Wanneer we een magneet, die met behulp van het vroeger gebruikelijk wolfraamstaal[1]) is vervaardigd, willen verbeteren, dan zou het voor de hand liggen om eenvoudig het wolfraamstaal te vervangen door een stuk modern magneetstaal van dezelfde vorm. Het resultaat zou dan echter meestal een groote teleurstelling blijken te zijn: de magneet wordt nauwelijks beter, het kan zelfs voorkomen, dat het moderne magneetstaal een zwakker veld levert dan het wolfraamstaal.

Aan de andere kant is gebleken, dat de moderne magneetstalen bij een oordeelkundige constructie van de geheele magneet wel degelijk betere resultaten opleveren dan de vroeger gebruikelijke staalsoorten, en dat men bijv. met het magneetstaal „Ticonal 2A" in een bepaalde luchtspleet een veld kan opwekken, dat slechts met een tienmaal grootere hoeveelheid wolfraamstaal zou kunnen worden verkregen. Hieruit volgt, dat de zoojuist genoemde teleurstelling niet aan het staal zelf te wijten is, maar toegeschreven moet worden aan het feit, dat een constructie, die berekend is voor een wolfraamstaal, niet geschikt is om van de specifieke kwaliteiten van de moderne magneetstalen profijt te trekken.

De bedoeling van dit artikel is om na te gaan, hoe dit komt en hoe men een magneet moet construeeren om een gegeven soort magneetstaal zoo voordeelig mogelijk te gebruiken.

Vergelijking van moderne en oude staalsoorten

De eigenschappen van een magneetstaal worden bepaald door zijn magnetiseeringskromme. De vorm van deze kromme kan met goede benadering worden vastgelegd door de waarden van de remanentie en van de coërcitiefkracht (zie *fig. 1*). De remanentie is de maximale inductie, welke in het staal overblijft, wanneer het magnetische veld tot nul wordt teruggebracht, nadat het staal eerst tot

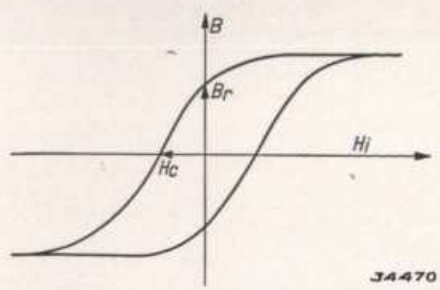


Fig. 1. Inductie B van een magneetstaal als functie van de inwendige veldsterkte H_i. De remanentie is B_r, de coërcitiefkracht H_c.

[1]) Wolfraamstaal kan als de beste vertegenwoordiger van de vroegere soorten magneetstaal worden beschouwd. De moderne magneetstalen verschillen in physisch opzicht van de vroeger gebruikelijke staalsoorten hoofdzakelijk door de aard van de omzettingsprocessen in het materiaal, door welke de magnetische hardheid wordt verkregen; zie hierover het artikel van J. L. Snoek, Philips techn. T. **2**, 233, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

zijn verzadiging is gemagnetiseerd. De coërcitiefkracht is de grootte van het magnetische veld, dat men in een richting, tegengesteld aan de remanente inductie, moet aanleggen, om deze inductie juist te doen verdwijnen.

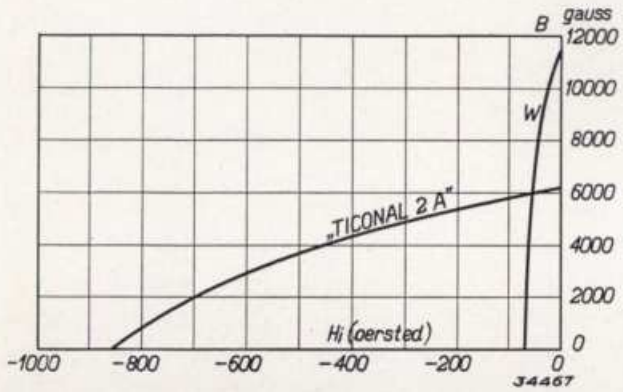


Fig. 2. Inductie B van een wolfraamstaal (W) en van het magneetstaal „Ticonal 2A" als functie van de inwendige veldsterkte H_i, die in het weergegeven stuk van de kromme tegengesteld gericht is aan de inductie.

Vergelijkt men in *fig. 2* de magnetiseeringskromme van een modern nikkel-aluminium-staal, zooals bijv. het reeds genoemde magneetstaal „Ticonal 2A" met die van een wolfraamstaal, dan ziet men, dat een verhooging van de coërcitiefkracht tot meer dan het tienvoudige is verkregen onder opoffering van een gedeelte van de remanentie, die ongeveer tot de helft is teruggeloopen. Niettegenstaande zijn lagere remanentie is echter in het algemeen het magneetstaal „Ticonal" als belangrijk beter te beschouwen. Om deze beoordeeling nader te motiveeren, zullen we nagaan, welke resultaten we kunnen bereiken, wanneer we in een bepaalde luchtruimte een bepaalde veldsterkte wenschen te verkrijgen met zoo weinig mogelijk magneetstaal.

Vereenvoudigde berekening van een magneet

Wij gaan uit van een constructie, zooals in *fig. 3* is aangegeven, nl. een magneet met lengte L en doorsnede S, waarop twee stukken week ijzer zijn aangebracht, die tezamen een luchtspleet insluiten

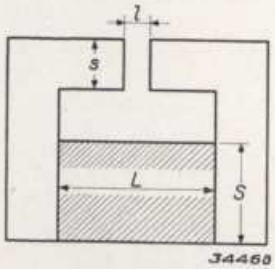


Fig. 3. Model voor de vereenvoudigde berekening van een magneet. De luchtspleet heeft een lengte l en een oppervlak s van de doorsnede; het magneetstaal heeft een lengte L en een oppervlak S van de doorsnede.

met lengte l en doorsnede s. Ter vereenvoudiging zullen we voorloopig aannemen, dat de krachtlijnen van de magneet allen de luchtspleet moeten passeeren om van de noordpool naar de zuidpool te komen. De spreiding wordt dus verwaarloosd. Verder zullen de velden in het magneetstaal en in de luchtspleet als homogeen worden beschouwd, en ten derde willen we aannemen, dat het week ijzer absoluut geleidend is voor magnetische flux, dwz. bij elke willekeurige waarde van de inductie B is het veld H_i in het week ijzer gelijk nul.

De magnetische toestand van het zoo vereenvoudigde model kan beschreven worden door drie grootheden, nl. de uitwendige veldsterkte H in de luchtspleet, de inwendige veldsterkte H_i en de inductie B van het magneetstaal. Ter berekening van een magneet zijn dan ook in eerste instantie drie vergelijkingen voldoende.

De eerste vergelijking wordt afgeleid uit de stelling, dat de totale magnetische flux door iedere doorsnede van het systeem dezelfde is, dus ook door een doorsnede van de magneet en van de luchtspleet. Deze vergelijking luidt dus:

$$B\,S = H\,s. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

De tweede vergelijking volgt uit de stelling, dat de lijnintegraal van de magnetische veldsterkte langs elke gesloten weg nul is. Daar in het week ijzer de veldsterkte nul is ondersteld, beteekent dit:

$$H\,l + H_i\,L = 0, \quad \ldots\ldots \quad (2)$$

$$H_i\,L = -\,H\,l. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2a)$$

H_i heeft dus het tegengestelde teeken (tegengestelde richting) als H.

Tenslotte bezitten wij als derde vergelijking nog het verband tusschen B en H_i, dat de magnetiseeringskromme van het magneetstaal aangeeft.

$$B = f\,(H_i) \ldots\ldots\ldots \quad (3)$$

Speciaal hebben wij hierbij te maken met het gedeelte van de kromme, waarin de richting van de veldsterkte tegengesteld is aan die van de inductie (vgl. fig. 2), zoodat het veld een ontmagnetiseerende werking heeft. Alvorens we van deze kromme gebruik maken, willen we echter eerst een algemeene conclusie trekken, welke te voorschijn komt, wanneer we de vergelijkingen (1) en (2a) met elkaar vermenigvuldigen. Het resultaat van deze bewerking:

$$-\,B\,H_i\,L\,S = H^2\,l\,s \quad \ldots \quad (4)$$

drukt uit, dat het volume $l\,s$ van de luchtspleet,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

vermenigvuldigd met het kwadraat van de veldsterkte, gelijk is aan het volume $L\,S$ van de magneet, vermenigvuldigd met de absolute waarde van het product $B\,H_i$. Aangezien wij ons tot taak hebben gesteld, bij gegeven luchtspleet en veldsterkte in de luchtspleet, dwz. bij gegeven tweede lid, het volume $L\,S$ van de magneet zoo klein mogelijk te houden, zien we uit (4), dat we daartoe een magneetstaal resp. een constructie moeten kiezen, waarbij het product $B\,H_i$ zoo groot mogelijk is. Nu is $B\,H_i$ voor een bepaald magneetstaal geen constante, maar hangt af van de waarde van H_i. Dat is duidelijk, want zoowel voor $H_i = 0$ ($B =$ de remanentie) als voor $B = 0$ (H_i gelijk aan de coërcitiefkracht) verdwijnt het product, terwijl het daartusschen van nul verschilt. Met behulp van de betrekking (3) kunnen wij het product als functie van H_i berekenen en verkrijgen de in *fig. 4* weergegeven kromme, die voor een bepaalde waarde H_i een maximum heeft.

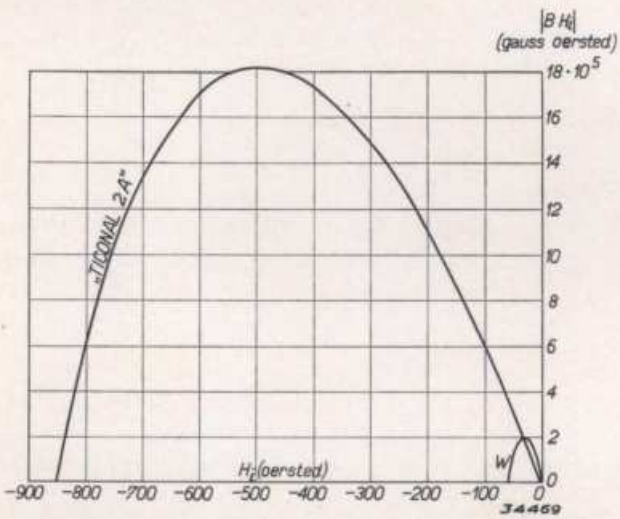


Fig. 4. Absolute waarde van het product $B\,H_i$ (inductie maal inwendige veldsterkte) als functie van H_i voor een wolfraamstaal (W) en voor het magneetstaal „Ticonal 2A".

De grootte van het maximum geeft ons nu een maat voor de kwaliteit van een magneetstaal, terwijl de bijbehoorende waarde van H_i de gunstigste constructie van de magneet bepaalt. Voor wolfraamstaal ligt het maximum bij 30 oersted en bedraagt het $2 \cdot 10^5$ gauss-oersted; voor „Ticonal 2A" ligt het maximum bij 400 oersted en bedraagt het $1{,}8 \cdot 10^6$ gauss-oersted. Volgens verg. (4) is er dus 9 maal minder „Ticonal"-staal dan wolfraamstaal noodig om in eenzelfde luchtspleet hetzelfde veld teweeg te brengen.

Nadat wij nu het benoodigde volume magneetstaal hebben uitgerekend, kunnen wij met behulp van verg. (2) de vereischte lengte van de magneet berekenen. Wij vinden:

$$L = -\frac{H}{H_i} l \quad \ldots\ldots\ldots \quad (5)$$

en moeten hierin voor H_i de optimale waarde invullen (bij „Ticonal" dus 400 oersted). De doorsnede van de magneet is nu ook bekend. Hiervoor geldt volgens (1):

$$S = \frac{Hs}{B}, \quad \ldots\ldots\ldots \quad (6)$$

waarbij B de inductie is, welke volgens verg. (3) behoort bij de optimale waarde van het ontmagnetiseerende veld H_i.

Uit de verg. (5) en (6) blijkt duidelijk, hoe de constructie van een magneet gewijzigd moet worden, wanneer een wolfraamstaal door „Ticonal" wordt vervangen. Het optimale veld H_i is toegenomen tot het dertienvoudige, en volgens verg. (5) beteekent dit, dat de lengte van een „Ticonal"-magneet slechts $^1/_{13}$ moet bedragen van die van een wolfraamstaal magneet, die hetzelfde veld levert. Daarentegen is de inductie B voor de optimale veldsterkte bij het magneetstaal „Ticonal" kleiner dan bij een wolfraamstaal; volgens verg. (6) moet dus de doorsnede S grooter worden genomen.

Wij kunnen nu ook inzien, dat het vervangen van een wolfraamstaal door het magneetstaal „Ticonal" (zonder verandering van de constructie) niet altijd tot een beter resultaat behoeft te leiden. Te dien einde deelen wij de verg. (1) en (2a) op elkaar. Dit geeft:

$$\frac{B}{H_i} = -\frac{L}{S}\frac{s}{l}. \quad \ldots\ldots\ldots \quad (7)$$

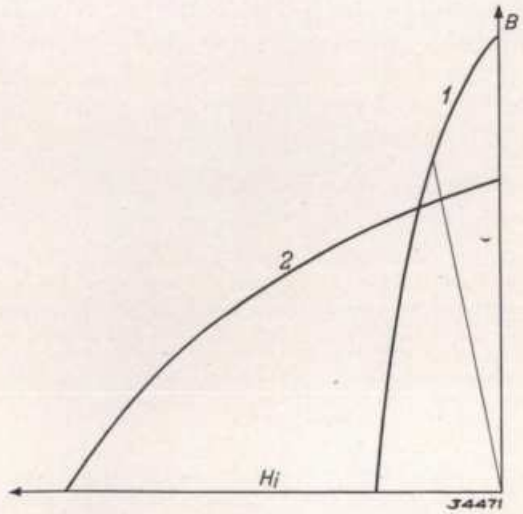


Fig. 5. De verhouding tusschen de inductie B en de inwendige veldsterkte H_i is bij een gegeven constructie onafhankelijk van de eigenschappen van het magneetstaal. Bij een voldoend hooge waarde van deze verhouding (helling van de rechte lijn $B/H_i =$ const.) is het product $B\,H_i$ voor het magneetstaal *1* grooter dan voor het staal *2*, hoewel de maximale waarde van dit product voor het staal *1* kleiner is dan voor het staal *2*.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Hebben we dus een magneet en een luchtspleet van bekende afmetingen, dan kennen we de verhouding B/H_i. In het diagram van de magnetiseeringskromme geeft ons dit een rechte lijn door de oorsprong, die de magnetiseeringskromme snijdt in een punt, dat ons de waarden van B en H_i aangeeft. Nu is het op zichzelf heel goed mogelijk (zie *fig. 5*), dat deze lijn de kromme van het betere staal snijdt in een punt, dat een kleiner product $B\,H_i$ levert dan het snijpunt met de kromme voor het slechtere staal. Het is echter duidelijk, dat dan de magneet van het betere staal zeer slecht gedimensioneerd is. Door veranderen van de constructie kunnen we dan zeker met dezelfde hoeveelheid magneetstaal een belangrijk beter resultaat verkrijgen.

De spreiding van krachtlijnen

Tot nu toe hebben wij geen rekening gehouden met de spreiding van de krachtlijnen. Wij zijn daarbij tot de conclusie gekomen, dat de kwaliteit van een magneetstaal alleen bepaald is door de maximale waarde van het product $B\,H_i$. Een verlaging van de remanentie van het magneetstaal levert dus geen bezwaren op, mits zij gepaard gaat met een overeenkomstige verhooging van de coërcitiefkracht. Een dergelijke verandering van de magnetische eigenschappen heeft echter tengevolge, dat de constructie moet worden gewijzigd, en het kan hierbij voorkomen, dat de nieuwe uitvoering een belangrijk grootere spreiding heeft dan de oude.

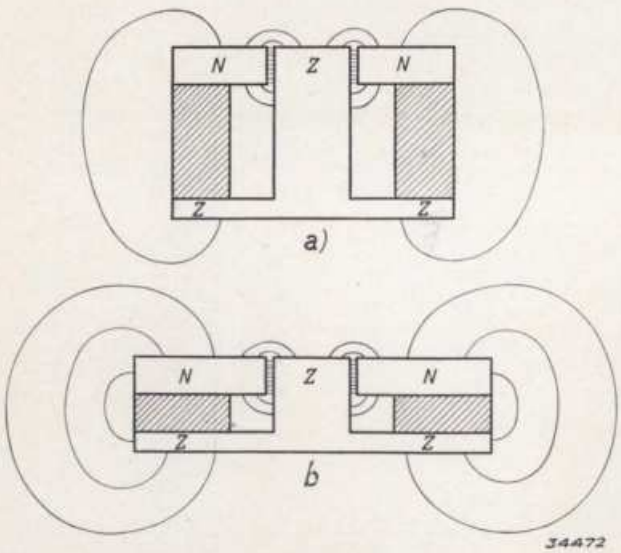


Fig. 6. a) Schematische doorsnede van een luidsprekermagneet, geconstrueerd met behulp van het magneetstaal „Ticonal 2A".
b) Doorsnede van dezelfde magneet, indien de coërcitiefkracht van het staal driemaal zoo groot was en de remanentie het derde gedeelte zou bedragen. De vorm verandert dusdanig, dat de spreiding belangrijk grooter wordt.

Een voorbeeld moge hierbij ter toelichting dienen:

In *fig. 6a* is de doorsnede van een magneet weergegeven, zooals die in luidsprekers wordt toegepast. Het magneetstaal is gearceerd, terwijl het week ijzer van de poolschoenen wit is gelaten. De afmetingen van deze magneet zijn, wat hun onderlinge verhouding betreft, aangepast bij de B-H_i-kromme van het magneetstaal „Ticonal 2A". Zou men een wolfraamstaal gebruiken, dan zou de hoogte van de magneet belangrijk grooter moeten zijn, terwijl de diameter iets kleiner kon worden genomen.

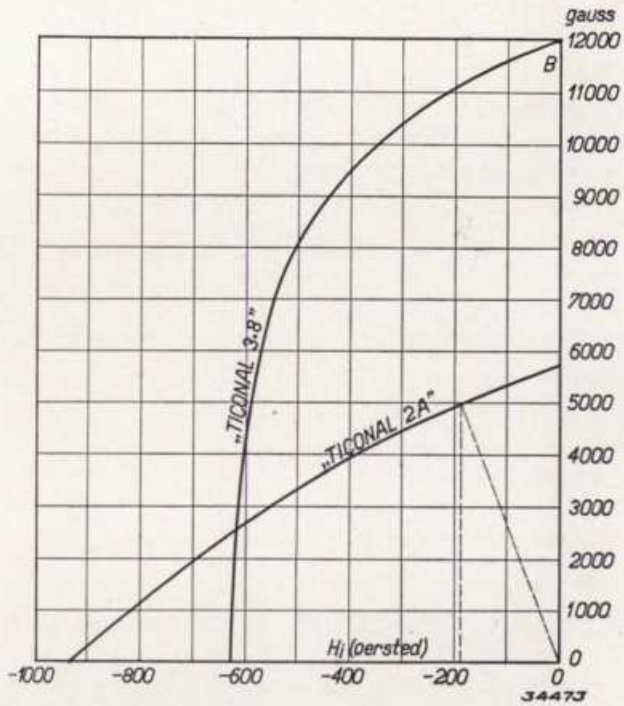


Fig. 7. Magnetiseeringskromme van het magneetstaal „Ticonal 3.8", vergeleken met die van „Ticonal 2A". De gestippelde lijnen hebben betrekking op het aan het slot behandelde voorbeeld.

Laten wij nu het denkbeeldige geval beschouwen, dat bij constant gehouden product $B\,H_i$ de inwendige veldsterkte van het staal nog driemaal zoo groot was als die van het „Ticonal 2A", terwijl de remanente inductie slechts een derde daarvan bedraagt. De magneet zou er dan zoo moeten uitzien, als in fig. 6*b* is weergegeven. Wij zien, dat de constructie, wat de spreiding betreft, veel ongunstiger is geworden: ten eerste is door de vergrooting van de diameter het oppervlak, waarvan het gespreide veld uitgaat, vergroot en ten tweede is door het afnemen van de hoogte, de weerstand van de luchtweg voor de krachtlijnen van het gespreide veld belangrijk verminderd. Hoewel het tweede magneetstaal, wanneer men van de spreiding afziet, even gunstig is als het eerste, zal het dus bij de constructie van een luidsprekermagneet toch niet mogelijk zijn om met dit staal een even gunstig resultaat te bereiken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Als algemeene conclusie kunnen wij vaststellen, dat de vraag, welk magneetstaal het meest geschikt is om in een luchtspleet van bepaalde vorm een veld van bepaalde sterkte op te wekken, niet beantwoord kan worden door uitsluitend te letten op de maximale waarde van het product $B\,H_i$, maar dat B en H_i zelf eveneens een rol spelen. In het bijzonder blijkt de remanentie van het magneetstaal „Ticonal 2A" voor sommige toepassingen ongewenscht laag te zijn. Een uitkomst biedt voor deze gevallen een nieuw magneetstaal, dat nog belangrijk beter is dan het „Ticonal 2A". Wel is waar heeft het een iets kleinere coërcitiefkracht maar vrijwel de dubbele remanentie, nl. 12 000 gauss. De maximale waarde van $B\,H_i$ is bij dit staal eveneens twee maal zoo groot. In *fig. 7* ziet men de magnetiseeringskromme van dit magneetstaal, aangeduid met „Ticonal 3.8".

Keeren we nu terug tot de vraag hoe men een magneet moet construeeren om het magneetstaal zoo voordeelig mogelijk te gebruiken, dan zijn onze kwalitatieve beschouwingen over de invloed van de spreiding onvoldoende en moeten worden aangevuld door een methode om de spreiding bij de berekening van de magneet kwantitatief in rekening te brengen.

Nauwkeuriger berekening van een magneet

De uitgebreidere berekening van een magneet, die wij in het volgende willen doorvoeren, verschilt van de boven uiteengezette vereenvoudigde behandeling hierin, dat we niet alleen de flux in de nuttige luchtspleet bepalen, maar de flux tusschen elk paar oppervlakken, waartusschen krachtlijnen door de lucht verloopen.

Bij de berekening van deze verschillende onderdeelen van de totale flux kunnen we met succes gebruik maken van het begrip „magnetische potentiaal", dat gedefinieerd wordt door

$$U_M = \int_{P_0}^{P} H_s \, ds,$$

waarbij ds een element van een lijn voorstelt, die getrokken wordt vanuit een punt P_0, waarin de magnetische potentiaal gelijk nul wordt gesteld, naar het punt P, waarin de magnetische potentiaal door de integraal wordt aangegeven. H_s is de component van H in de richting van het lijnelement ds.

De flux voor elke twee oppervlakken, waartusschen krachtlijnen verloopen, kan nu worden voorgesteld door het magnetische potentiaalverschil, vermenigvuldigd met het magnetische geleidingsvermogen; dit laatste is dus volkomen op dezelfde wijze gedefinieerd als een electrisch geleidingsvermogen. Het magnetische geleidingsvermogen van een staaf met een lengte l, een doorsnede s en een permeabiliteit μ is

$$g = \mu\, s/l\,.$$

Het soortelijke geleidingsvermogen is dus niets anders dan de permeabiliteit.

Het geleidingsvermogen van de luchtweg tusschen twee oppervlakken is gelijk aan de doorsnede van de bundel van krachtlijnen, die tusschen deze twee oppervlakken verloopt, gedeeld door de lengte van de krachtlijnen. Feitelijk zijn zoowel de doorsnede als de lengte als een soort gemiddelde waarde te beschouwen. Hoe men bij de bepaling van deze gemiddelde waarden te werk kan gaan, zal straks aan de hand van een voorbeeld worden besproken.

Is U_k het potentiaalverschil tusschen elk paar van oppervlakken en g_k het bijbehoorende geleidingsvermogen, dan is de totale flux:

$$\Phi = \Sigma\, U_k\, g_k \,. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (8)$$

Veelal wordt de totale flux Φ betrokken op de nuttige flux $\Phi_0 = U_0\, g_0$, die door de luchtspleet gaat. De verhouding Φ/Φ_0 noemt men de spreidingscoëfficient σ.

Wanneer de spreidingscoëfficient bekend is, kan de berekening van de magneet op de in het begin van dit artikel behandelde wijze geschieden. Verg. (1) moet worden vervangen door de meer exacte betrekking

$$B\,S = H\,s\,\sigma \,. \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (9)$$

en deze levert samen met de vergelijkingen (2) en (3) de drie onbekenden B, H_i en H.

Het geheele probleem is dus teruggebracht tot het meten of berekenen van de termen $U_k\, g_k$ resp. $U_0\, g_0$, die bij de berekening van de spreidingscoëfficient σ optreden. Dikwijls bestaat een aanmerkelijke spreiding alleen tusschen de weekijzeren poolstukken, waartusschen zich ook de luchtspleet bevindt. De verschillende magnetische potentiaalverschillen U_k zijn dan onderling practisch gelijk en gelijk aan U_M. In dat geval treden bij het berekenen van σ alleen de geleidingsvermogens op en niet de potentialen.

De geleidingsvermogens kunnen bij bepaalde eenvoudige configuraties exact berekend worden. Meestal echter is de berekening zeer moeilijk of zelfs onmogelijk. Aangezien dit probleem een groote practische beteekenis heeft, bijv. voor de constructie van meetinstrumenten, zullen wij in hetgeen volgt uiteenzetten, hoe men langs half empirische weg

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

toch tot formules kan geraken, die het mogelijk maken om het veld in de luchtspleet van een magneet te berekenen voor verschillende vorm en grootte van de magneet en verschillende soorten magneetstaal.

Voor de doorsnede van de bundel krachtlijnen, die tusschen twee oppervlakken overgaat, nemen wij de gemiddelde grootte van deze twee oppervlakken. Om de lengte van de luchtweg te bepalen kiezen wij voor de krachtlijnen een of ander eenvoudig verloop, bijv. een rechte lijn of een stuk van een cirkel. De zoo verkregen formule voor het geleidingsvermogen wordt tenslotte aangevuld met een numerieke factor, die proefondervindelijk wordt bepaald, door de flux, die tusschen deze oppervlakken overgaat, aan een model te meten. Het is duidelijk, dat met behulp van de zoo verkregen formules een constructie, die slechts een vergroote of verkleinde reproductie van het proefmodel is, nauwkeurig berekend kan worden. De groote waarde van de methode is echter hierin gelegen, dat de empirisch gevonden getalfactoren niet blijken te veranderen, wanneer de onderlinge verhoudingen tusschen de verschillende afmetingen van de magneet en de aard van het magneetstaal bij de werkelijke uitvoering geheel anders worden gekozen dan bij het proefmodel. Met behulp van eenzelfde formule kan men dus de eigenschappen van zeer uiteenloopende types van magneten voorspellen. Hiervoor zal in het volgende een eenvoudig voorbeeld worden gegeven.

Volledige berekening van een eenvoudig voorbeeld

Als voorbeeld kiezen we de in *fig. 8* weergegeven constructie, die bestaat uit twee in elkaars verlengde liggende cylindervormige magneten M, voorzien van ijzeren poolstukken P en gesloten door een ijzeren beugel B, die voldoende dik is om practisch geen magnetische weerstand te hebben. De afstand a tusschen de beugel en de poolschoenen wordt zoo groot gemaakt, dat geen noemenswaardige flux deze luchtweg zal overbruggen.

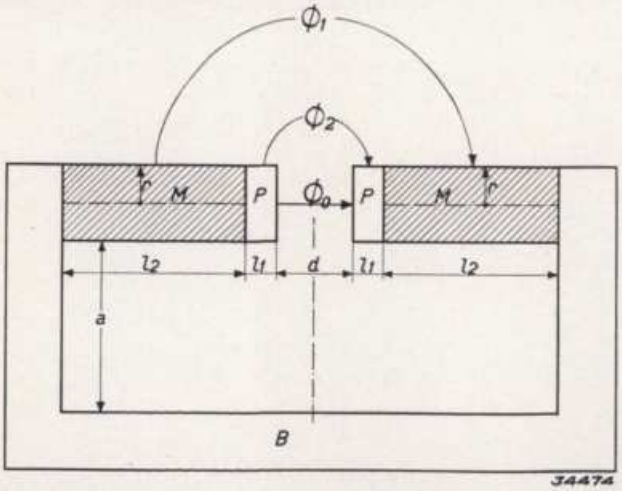


Fig. 8. Model van een magneet, waarvan de nuttige flux Φ_0 en de gespreide flux $\Phi_1 + \Phi_2$ langs een half empirische weg kan worden berekend. Gearceerd: magneetstaal; niet gearceerd: week ijzer.

Laten we aannemen, dat de linker poolschoen de noordpool, de rechter poolschoen de zuidpool is. De flux door de luchtruimte kan dan als volgt worden verdeeld:

1) de flux Φ_1 van de linker magneet naar de rechter magneet;
2) de flux Φ_2 van de cylinderwand van het linker poolstuk naar die van het rechter poolstuk;
3) de nuttige flux Φ_0 van de vlakke wand van het linker poolstuk naar die van het rechter poolstuk.

De flux Φ_1 zal evenredig zijn met het cylindervormige oppervlak $2\,\pi\,r\,l_2$ van de magneet en omgekeerd evenredig met de lengte van de krachtlijnen. Hiervoor nemen wij als gemiddelde waarde de lengte van de in de figuur geteekende halve cirkel, die gelijk is aan

$$\pi\left(\frac{d}{2}+l_1+\frac{l_2}{2}\right).$$

De magnetische potentiaal verloopt van de waarde 0 voor de buitenste krachtlijn tot de waarde $2\,l_2\,H_i$ voor de binnenste krachtlijn; wij nemen hier als gemiddelde waarde $l_2\,H_i$. Zoodoende komen wij tot de formule:

$$\Phi_1 = \alpha\,\frac{2\,\pi\,r\,l_2}{\pi\left(\frac{d}{2}+l_1+\frac{l_2}{2}\right)}\,H_i\,l_2 = \alpha\,\frac{4\,r\,l_2^2}{d+2\,l_1+l_2}\,H_i \quad . \quad . \quad (10)$$

Zooals men ziet, is behalve de reeds verklaarde grootheden nog een factor α ingevoerd. Deze factor wordt proefondervindelijk bepaald door de flux Φ_1 te meten. Op deze wijze is bereikt, dat de formule voor een bepaald model precies de goede uitkomst levert. In het algemeen blijkt nu, dat de empirische correctiefactor niet belangrijk verandert, wanneer men van het speciaal onderzochte model overgaat naar een uitvoering met geheel andere afmetingen r, l_1, l_2, d; en hierop steunt de geheele berekeningsmethode.

De flux Φ_2 door de zijwand van het weekijzeren poolstuk wordt precies op dezelfde wijze berekend als de flux Φ_1; het resultaat is:

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

$$\Phi_2 = \beta \frac{2\pi r l_1}{\pi\left(\frac{d_1}{2} + \frac{l_1}{2}\right)} 2 H_i l_2 = \beta \frac{8 r l_1 l_2}{d + l_1} H_i, \quad . \quad (11)$$

waarbij β weer een experimenteel te bepalen factor is.

Tenslotte berekenen wij de nuttige flux. De lengte van de krachtlijnen (d) en de doorsnede van de bundel krachtlijnen (πr^2) zijn bij een voldoend smalle spleet goed gedefinieerd, zoodat het niet noodig is een correctiefactor in te voeren. Men heeft dus eenvoudig:

$$\Phi_0 = \frac{\pi r^2}{d} 2 H_i l^2 \quad . \quad . \quad . \quad . \quad . \quad (12)$$

De proeven ter bepaling van α en β werden gedaan aan een magneet van „Ticonal 3.8" met de afmetingen:

$r = 1{,}28$ cm,
$d = 0{,}515$ cm,
$l_1 = 0{,}2$ cm,
$l_2 = 3$ cm.

Hierbij werd gevonden:

$H = 4\,300$ oersted,
$\Phi_1 = 15\,100$ maxwell,
$\Phi_2 = 13\,300$ „ ,
$\Phi_0 = 22\,400$ „ ,
totale flux $\Phi = 50\,800$ „ ,
$\sigma = \Phi/\Phi_0 = 2{,}27.$

Uit de gemeten waarde Φ_0 kunnen wij met behulp van verg. (12) het inwendige veld H_i berekenen en vinden $H_i = 373$ oersted. Nu kan ook volgens verg. (10) resp. (11) de gespreide flux Φ_1 resp. Φ_2 berekend worden. Het resultaat is:

$\Phi_1 = \alpha \cdot 4400$ maxwell,
$\Phi_2 = \beta \cdot 3210$ „ .

Door deze uitkomsten te vergelijken met de gemeten waarden van Φ_1 en Φ_2 vindt men:

$\alpha = 3{,}43,$
$\beta = 4{,}14.$ [2])

Nu zijn alle grootheden bekend, die noodig zijn om met behulp van de verg. (10), (11) en (12) een formule voor de spreidingscoëfficient samen te stellen. Deze luidt:

$$\sigma = (\Phi_1 + \Phi_2 + \Phi_0)/\Phi_0 =$$
$$= \frac{2 d}{\pi r}\left(\frac{3{,}43\, l_2}{d + 2l_1 + l_2} + \frac{8{,}28 l_1}{d + l_1}\right) + 1. \quad . \quad (13)$$

Verg. (13) vormt de grondslag voor de berekening van een magneet van het hierboven behandelde type. Immers, kennen wij de spreidingscoëfficient σ, dan leveren ons de verg. (2), (3) en (9) de overige onbekenden H, H_i en B.

Om de formule te controleeren en daarmee de geheele methode te toetsen, werd een tweede model gemaakt, waarvan de dimensies zeer sterk verschilden van die van het proefmodel, terwijl bovendien een ander soort magneetstaal was gekozen, nl. „Ticonal 2A" in plaats van „Ticonal 3.8" (zie fig. 7). De afmetingen van het contrôlemodel zijn:

$r = 1{,}7$ cm,
$d = 2{,}05$ cm,
$l_1 = 1{,}0$ cm,
$l_2 = 5{,}6$ cm,

doorsnede van de magneet [3]) 8,28 cm².

Het veld in de luchtspleet van deze magneet bleek

$$H = 980 \text{ oersted}$$

te bedragen. Laten wij nu nagaan, hoe groot de veldsterkte is, die met behulp van de boven afgeleide formules wordt voorspeld:

Wij berekenen eerst volgens (13):

$$\sigma = 4{,}6.$$

Nu is volgens verg. (9)

$$8{,}28\, B = H \cdot 9{,}08 \cdot 4{,}6,$$

terwijl volgens verg. (2)

$$H_i = -H \frac{2{,}05}{11{,}2}.$$

Elimineeren wij uit deze vergelijkingen H (zooals ook bij het afleiden van verg. (7) is gebeurd), dan volgt:

$$\frac{B}{H_i} = \frac{9{,}08 \cdot 4{,}6 \cdot 11{,}2}{2{,}05 \cdot 8{,}28} = 27{,}6.$$

Nu kunnen wij met behulp van de magnetiseeringskromme ook B en H_i zelf bepalen: de lijn $B/H_i = 27{,}6$ snijdt de B-H_i kromme van het gebruikte magneetstaal („Ticonal 2A", zie fig. 7) in het punt:

$$B = 5000 \text{ gauss}, \quad H_i = -182 \text{ oersted}.$$

[2]) α en β zijn veel grooter dan 1, hetgeen beteekent, dat onze schatting van het geleidingsvermogen vóór het aanbrengen van de correctiefactor zeer slecht was. Dat het werkelijke geleidingsvermogen belangrijk hooger is dan de geschatte waarde, is begrijpelijk: immers in het midden van de bundel is de doorsnede daarvan veel grooter, dan wij hebben aangenomen. Het is opmerkelijk, dat deze grove methode om de spreiding in rekening te brengen uiteindelijk toch vrij goede resultaten oplevert.

[3]) De magneet had in de as een gat, zoodat zijn doorsnede iets kleiner was dan πr^2.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

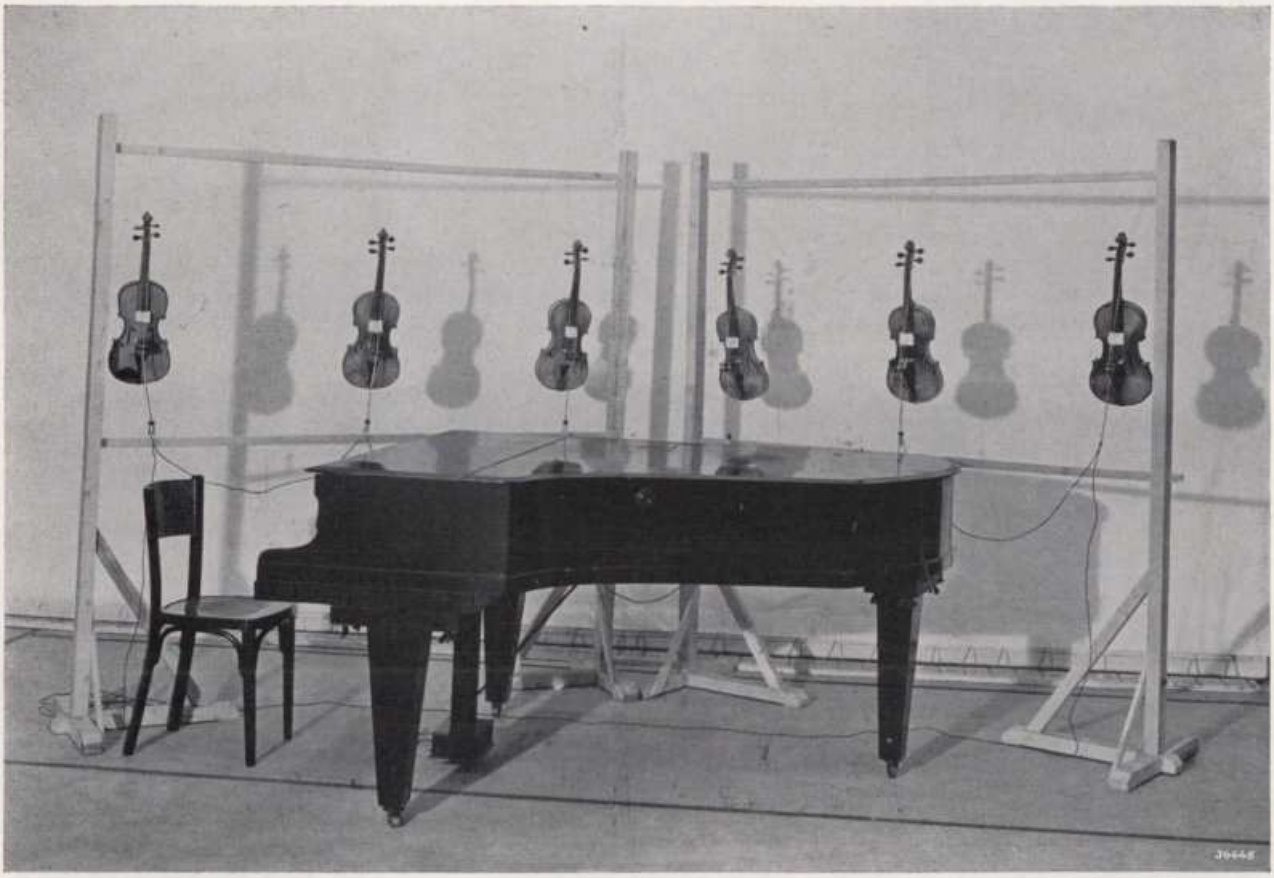
www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Tenslotte vinden wij voor het veld in de luchtspleet:

$$H = \frac{-11{,}2}{2{,}05} H_i = 994 \text{ oersted.}$$

De afwijking van het meetresultaat bedraagt dus slechts 1,4%, hetgeen zeer goed genoemd moet worden, vooral indien men bedenkt, dat het contrôlemodel geheel anders gedimensioneerd was dan het proefmodel (bijv. is de verhouding tusschen de gespreide flux en de nuttige flux bij het contrôlemodel ongeveer 3 maal zoo groot als bij het proefmodel).

Nadat we gezien hebben, hoe we het veld in de luchtspleet van een magneet kunnen berekenen, rest ons nog het probleem een magneet te ontwerpen, die in een gegeven luchtspleet een gegeven veld levert. Wij kunnen beginnen met het berekenen van lengte en doorsnede van het magneetstaal volgens de verg. (2a) en (9). Voor H_i kiezen wij hierbij een gunstige waarde, terwijl de spreidingscoëfficient σ moet worden geschat. Met de verkregen afmetingen van het staal ontwerpen wij de overige deelen van de magneet en berekenen daarna σ volgens verg. (13). Stemt de berekende waarde met de geschatte waarde overeen, dan zijn wij klaar; anders herhalen wij de procedure met de nieuwe waarde van σ en zullen met het tweede of derde ontwerp ons doel bereiken.



PERSPECTIEVEN VOOR EEN ONTWIKKELING VAN DE VIOOL

door R. VERMEULEN.

534.86 : 787.1

In dit artikel wordt uiteengezet, op welke wijze een versterking van het geluid van een soloviool ten opzichte van dat van het begeleidend orkest kan worden verkregen. De in het Philips-laboratorium beproefde opstelling wordt beschreven en er worden verschillende gezichtspunten besproken, welke bij de practische toepassing van belang zouden zijn.

Bij het lezen van het opschrift van dit artikel zal men waarschijnlijk geneigd zijn al dadelijk de vraag op te werpen: Bestaat er dan behoefte aan een verdere ontwikkeling der viool? Is het niet veeleer zoo, dat de vioolbouwers niets liever zouden willen dan terugkeeren tot het peil, dat een Stradivarius of een Guarnerius reeds in de 18de eeuw hadden bereikt?

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Toch is het niet ongerijmd om van een ontwikkelingsbehoefte voor de viool te spreken; die behoefte is eenvoudig ontstaan door het feit, dat de doeleinden, waarvoor de viool wordt gebruikt, mettertijd een verandering hebben ondergaan. Terwijl de viool in den beginne — we denken hier aan de 16de eeuw, sinds welken tijd geen principieele wijzigingen meer in de constructie der viool zijn gekomen — hoofdzakelijk werd gebruikt voor kamermuziek en voor muziekuitvoeringen in de galmende ruimte van kerken, brengt de tegenwoordige practijk der muziekbeoefening mede, dat gespeeld moet worden in concertzalen van vaak reusachtige afmetingen, voor groote massa's van toehoorders. Hierdoor worden veel hoogere eischen gesteld aan de geluidsintensiteit, welke de geluidsbron moet kunnen leveren. Deze eischen spiegelen zich duidelijk af in de groote omvang, welke de orkesten hebben aangenomen: elke instrumentstem, die in de partituren voorkomt, wordt door verscheidene exemplaren van dat instrument unisono gespeeld, en met name wordt elke vioolstem door een groot aantal violen, tot bijv. 25 toe, ten gehoore gebracht.

Deze methode voor het opvoeren der intensiteit, nl. het vermenigvuldigen van het aantal musici, levert geen moeilijkheden op, zoolang van elke medewerkende niet meer dan de normale vaardigheid in het bespelen van zijn instrument wordt gevergd. De situatie wordt echter geheel anders, wanneer het om musici van uitzonderlijke begaafdheid gaat, die als solisten optreden, bijv. in een vioolconcert met begeleiding door orkest. De solist moet dan met zijn ééne viool tegen het geheele orkest opspelen, en al legt de dirigent het orkest ook de grootste terughoudendheid op, toch wordt het vaak een „concert" in de waarste zin van het woord, een „wedstrijd", waarbij het den solist een danige inspanning kost om zijn instrument voldoende sterk boven de begeleiding te doen uitkomen. Dat dit niet bepaald gewenscht is, behoeft haast geen betoog: niet alleen dreigt de kunstenaar door de inspanning te worden afgeleid van de volledige overgave aan het uit te voeren werk, maar bovendien kan de kwaliteit van de toon eronder lijden, doordat bij al te groote amplituden van snaren en klankbord niet-lineaire vervorming kan optreden, die piepen of krassen veroorzaakt. Iedere vioolsolist zal dan ook beamen, dat het een zeer te appreciëeren vooruitgang zou zijn, wanneer men er in kon slagen, met behoud der andere kwaliteiten de klank van de viool te vergrooten.

Hoe zou men dit nu kunnen doen? Men zou kunnen aanknoopen bij het ervaringsfeit, dat de violen van de reeds vermelde beroemde Italiaansche vioolbouwers der 18de eeuw ten opzichte van nieuwere violen niet alleen een mooiere klank bezitten, maar ook veel gemakkelijker een groote intensiteit leveren. De kennis van de methoden, waardoor een en ander werd verkregen, schijnt verloren gegaan, zoodat men er tot nog toe niet in heeft kunnen slagen, deze oude violen te evenaren. Sommige meenen zelfs, dat pogingen daartoe ten eenenmale tot mislukking zijn gedoemd, daar de oude violen hun hooge kwaliteit hieraan zouden hebben te danken, dat zij zoo oud zijn en gedurende zoo langen tijd door zoovele uitstekende violisten zijn „ingespeeld". Maar dit zelfs daargelaten, zou men met nabouwen der oude violen nog niet het gewenschte effect bereiken, daar ook een Stradivarius feitelijk niet voldoende geluid geeft om boven de begeleiding van een groot orkest uit te komen.

Een tweede mogelijkheid om de klank van het instrument te versterken zou zijn, de afmetingen er van te vergrooten. Zooals eenige tijd geleden in dit tijdschrift aan het voorbeeld van de eenvoudigste geluidsstraler, de pulseerende bol, is uiteengezet [1]), neemt nl. het afgegeven acoustisch vermogen met de grootte van de straler toe. In ons geval komt deze weg echter om voor de hand liggende redenen niet in aanmerking: de grootte van de viool bepaalt tevens in belangrijke mate haar timbre. Maken we haar grooter, dan krijgen we geen sterkere viool, maar een altviool of een cello.

Men kan een uitweg uit deze impasse zoeken door gebruik te maken van de hedendaagsche electroacoustische hulpmiddelen. Het geluid van de viool kan met een microfoon worden opgenomen, de microfoonspanning kan men willekeurig versterken en aan een luidspreker toevoeren. Maar dan rijst de vraag: waar moeten we de microfoon opstellen? Het meest natuurlijke zou zijn om de vioolklank ter plaatse van de luisteraars op te vangen. Brengen we echter de microfoon ter plaatse van de luisteraars aan, dan zijn we geen stap verder gekomen, daar nu het geluid van het orkest tegelijk met dat van de soloviool wordt versterkt. Om de verhouding der twee geluidsbijdragen ten gunste van het solo-instrument te doen verschuiven, zou men derhalve de microfoon in de onmiddellijke nabijheid van dit laatste moeten ophangen. Een dergelijke oplossing wordt bijv. toegepast in het analoge geval, dat een zangstem duidelijk tegen een jazzband moet afsteken. Het plaatsen van de microfoon vlak bij de geluidsbron brengt echter

[1]) A. Th. van Urk en R. Vermeulen, Straling van geluid, Philips techn. T. 4, 225, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

het bezwaar mee, dat het geluid daardoor in timbre aanmerkelijk kan verschillen van dat op grootere afstand. In het genoemde voorbeeld van de jazz-zanger heeft dit feit geleid tot de ontwikkeling van een speciale zangtechniek, die onder de naam van „crooning" bekend is geworden. De viool is echter nog veel grooter dan de mondopening der jazz-zangers, en bovendien heeft de violist eenige bewegingsvrijheid noodig, zoodat het plaatsen van de microfoon vlak bij de soloviool niet in aanmerking kan komen.

Deze moeilijkheden worden omzeild, wanneer men in plaats van de acoustische trillingen rondom de viool de mechanische trillingen van het vioollichaam opneemt [2]), met behulp van een soort electrische gramofoon-opnemer, en dan versterkt. De practische verwezenlijking van dit principe, die in het Philips-laboratorium is beproefd, vereischte nog eenige overwegingen, die we hier in het kort willen weergeven.

Wanneer de strijkstok over een snaar glijdt, ontstaat een relaxatietrilling, waarbij de uitwijking

Fig. 1. De uitwijking van een aangestreken vioolsnaar als functie van de tijd. Het schaduwbeeld van een punt von de snaar is tijdens het trillen op een continu bewogen film opgenomen (H. Backhaus, Naturwiss. **17**, 811, 1929).

der snaar als functie van de tijd ongeveer volgens een zaagtand (*fig. 1*) verloopt. Deze trilling van de snaar, die samengesteld is uit een groot aantal harmonischen, wordt door de kam overgebracht op het vioollichaam, dat nu op zijn beurt gaat trillen en de trillingen in de vorm van geluid uitstraalt. Door de zeer uitgesproken resonanties van het vioollichaam (zie de frequentiekarakteristiek *fig. 2*) worden harmonischen in bepaalde frequentiegebieden versterkt, waardoor de typische vioolklank ontstaat: het lichaam van de viool is dus het timbre-bepalend orgaan. Aan elke der genoemde resonanties beantwoordt een bepaalde trillingsvorm van het vioollichaam, die men door klankfiguren volgens Chladni zichtbaar zou kunnen maken. Hieruit volgt echter direct, dat men de mechanische trillingen van het vioollichaam zelf voor het beoogde doel niet kan gebruiken. Immers, zet men de punt van een trillingsopnemer op een plek van het klankbord, dan zou hier voor een bepaalde frequentie juist een knoop van de ontstaande trillingsvorm kunnen liggen, zoodat die frequentie niet wordt overgedragen. De eenige plaats van de viool, waar alle trillingen met zekerheid kunnen worden aangetroffen, is de kam, die de snaartrillingen naar het klankbord doorgeeft.

Aan de andere kant hebben we juist gezien, dat de trillingen van de kam geenszins het geluid van de viool kunnen representeeren, daar zij nog niet het timbre-bepalend orgaan hebben gepasseerd. Zouden we dus de trillingen van de kam in een gewone luidspreker weergeven, dan zou het zoo verkregen geluid nog niet overeenkomen met de vioolklank. Zoo komen we tot de eigenaardige gevolgtrekking, dat we bij de weergave der trillingen het timbre-bepalend orgaan alsnog moeten inschakelen, door nl. een vioollichaam als luidspreker te gebruiken: *De trillingen, die van de kam der soloviool worden afgenomen, worden opgedwongen aan de kam van een tweede viool, die dan in principe dezelfde klank uitstraalt, alsof zij door de snaartrillingen der eerste viool tot klinken was gebracht* [3]).

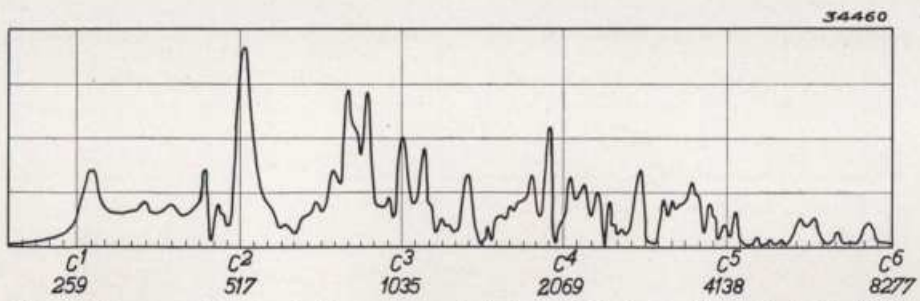


Fig. 2. Frequentiekarakteristiek van een viool. (Uit H.Meinel, Akust. Z. **4**, 89, 1939, fig. 1).

Voor het opnemen der trillingen is het niet geheel onverschillig, welk punt van de kam men kiest. In *fig. 3* is een doorsnede van een viool ter hoogte

[2]) Soortgelijke overwegingen zijn onlangs reeds in dit tijdschrift ter sprake gekomen bij de beschrijving van de keelmicrofoon, die het telefoneeren in ruimten met groot lawaai mogelijk maakt: Philips techn. T. **5**, 6, 1940.

[3]) Toen de luidsprekertechniek nog in haar kinderschoenen stond, werd reeds een keer een viool- of mandolinelichaam als luidspreker gebruikt, echter om er het normale geluid van spraak of muziek mee te versterken. Dat men hiermee de plank geheel mis sloeg, is na het bovenstaande wel duidelijk.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

van de kam weergegeven. Men ziet, dat onder de rechtervoet van de kam, d.i. onder de e-snaar, een dwarshout tusschen het bovenste en het onderste klankbord is aangebracht, de zg. stapel. De amplitude van het bovenste klankbord hier ter plaatse is derhalve practisch nul en we kunnen zeggen, dat de kam slechts een draaiende beweging om zijn rechtersteunpunt kan uitvoeren. De draaiende beweging van de kam wordt teweeggebracht door de hoofdzakelijk in horizontale richting trillende snaren. Door het linkersteunpunt wordt dan het bovenste klankbord in transversale trilling gebracht. Om deze trillende beweging over een grooter vlak uit te spreiden, is het klankbord hier ter plaatse (dus onder de g-snaar) versterkt door een dikkere houtlaag, de zg. zangbalk.

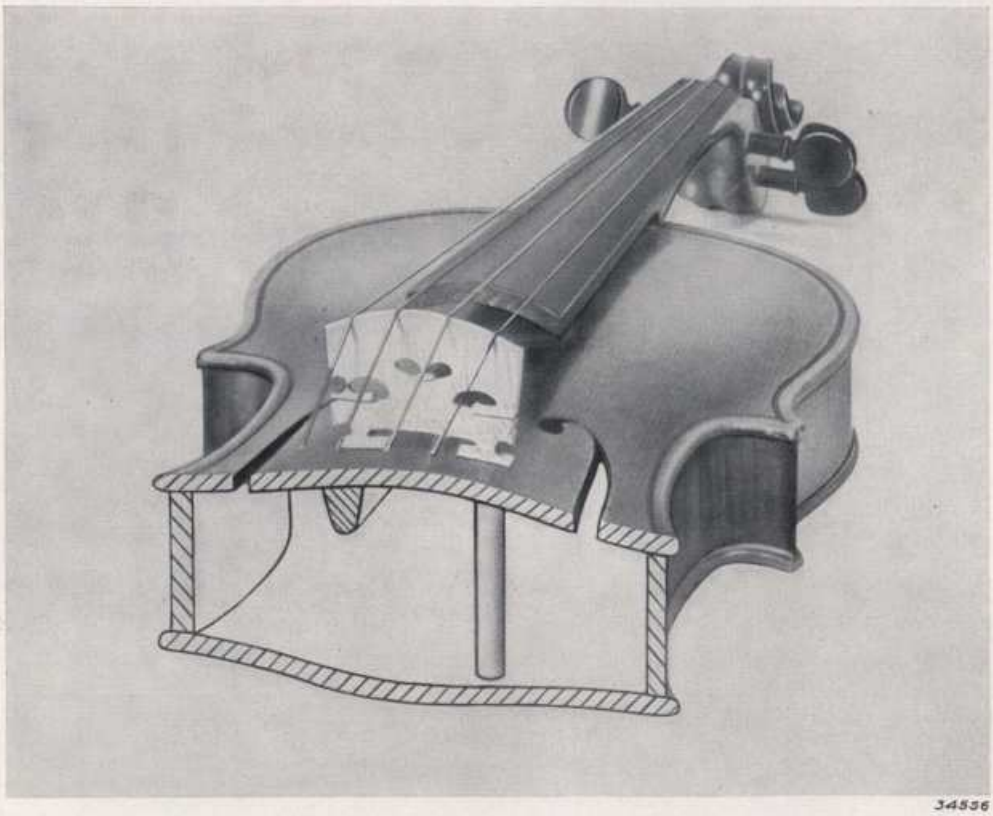


Fig. 3. Doorsnede van een viool ter hoogte van de kam. Rechts (onder de e-snaar) de stapel, links (onder de g-snaar) de zangbalk. De snaren trillen hoofdzakelijk in horizontale richting.

Voor het opzetten van de punt van de trillingsopnemer, waarmee we de vioolklank willen versterken, kiezen we de door een cirkeltje aangeduide plek van de kam (*fig. 4*), daar we hier de grootste amplituden kunnen verwachten. De punt beweegt dan in de pijlrichting (loodrecht op het klankbord). *Fig. 5* laat de wijze van aanbrengen van de trillingsopnemer zien, eenige details zijn in het bijschrift vermeld.

Het aandrijven van de kam der „luidsprekerviool" geschiedt door middel van een soortgelijk apparaat als de geluidschrijver voor het registreeren van gramofoonplaten, die reeds eerder in dit tijdschrift werd beschreven [4]). Om het principe geheel zuiver door te voeren, zou de aandrijving op de overeenkomstige plek van de kam moeten gebeuren als het opnemen der trillingen van de soloviool. In de practijk bleek dit niet goed mogelijk, daar

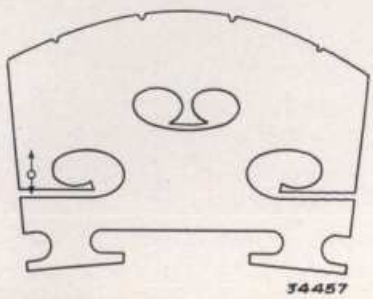


Fig. 4. Kam van een viool (natuurlijke grootte). Aangezien de kam voornamelijk een draaiende beweging om zijn rechtersteunpunt maakt, treden links de grootste amplituden op. De punt van de trillingsopnemer wordt op de door een cirkeltje aangeduide plaats aangebracht; hij kan in de pijlrichting bewegen.

[4]) K. de Boer en A. Th. van Urk, Een eenvoudig toestel voor geluidsregistratie, Philips techn. T. 4, 111, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

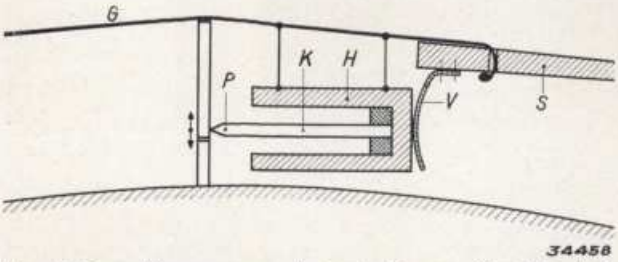


Fig. 5. De trillingsopnemer bestaat uit een piëzo-kristal K, dat veerend in een huis H is bevestigd en dat de, door de kam aangedreven, punt P draagt. De constructie en de werking van het apparaat gelijkt veel op die van de kristal-keelmicrofoon, die in het reeds aangehaalde artikel [2]) is beschreven. Het huis H is aan het doode eind van de g-snaar G opgehangen en wordt door de veer V, die aan het staartstuk S van de viool vastzit, in de richting van de kam gedrukt. Bij het trillen van de kam blijft het vrij zware huis H practisch in rust en het kristal K maakt buigingstrillingen, waardoor tusschen de boven- en onderzijde ervan een piëzospanning ontstaat. Deze wordt door middel van opgeplakte electrodeblaadjes afgenomen en na versterking toegevoerd aan de „luidspreker-viool".

het in fig. 4 aangegeven plekje zich slecht leent voor het stevig bevestigen van de schrijver op de kam, hetgeen met het oog op de vrij groote over te brengen krachten vereischt is. De schrijver werd daarom met behulp van een beugel, die onder de twee middelste snaren werd geklemd, boven op de kam bevestigd, zooals dit schematisch in *fig. 6* is weergegeven. Deze opstelling bleek heel goed te voldoen. In het bedrijf tracht de beugel, die met het trillende anker van de schrijver meebeweegt, een kantelende beweging te maken, waardoor een koppel op de kam wordt uitgeoefend in dezelfde richting als door de oorspronkelijke beweging der snaren. De snaren zelf mogen op de luidspreker-viool natuurlijk niet meetrillen, daar zij immers tijdens het spel niet doorloopend door neerdrukken op de toets op de juiste toonhoogte worden afgestemd. Daarom wordt de beweging der snaren door een prop watten geheel gedempt. Weglaten kan men de snaren niet, daar zij door de spanning, die zij aan het vioollichaam meedeelen, de het timbre bepalende eigenschappen ervan op essentieele wijze kunnen beïnvloeden [5]).

De versterking, die met behulp van een dergelijke luidspreker-viool is te verkrijgen, vindt haar natuurlijke beperking in de reeds vermelde niet-lineaire vervorming, die bij te groote amplituden van de onderdeelen der viool merkbaar wordt. Wil men de versterking nog verder opvoeren, dan moet men een voldoend aantal luidspreker-violen parallel schakelen (*fig. 7* en titelfoto).

Keeren we nu nog even van het laboratorium naar de concertzaal terug. Het geluid van de solo-viool wordt, wanneer we de bovengeschetste methode tot versterking toepassen, weergegeven door vijf of tien violen tegelijk. Dit doet de vraag rijzen, of de methode ook in staat zou zijn, om het groote aantal musici van het orkest overbodig te maken: Zou men, in plaats van 25 eerste violisten in het orkest te zetten, met één violist kunnen volstaan door met diens viool 24 andere violen te laten meespelen? Wanneer de meervoudige bezetting van elke vioolstem haar aanleiding alléén zou vinden in het gezichtspunt der groote intensiteit, zou men inderdaad tot die conclusie moeten besluiten. In werkelijkheid is de zaak echter ingewikkelder.

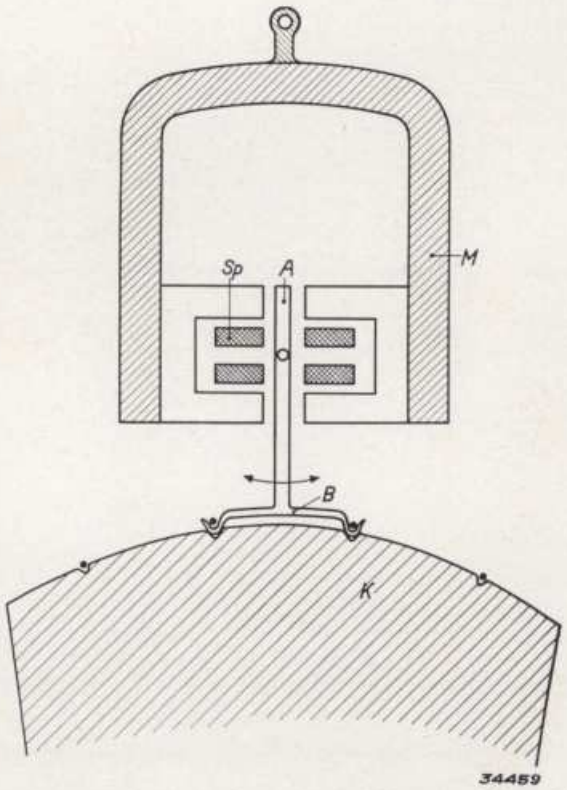


Fig. 6. Aandrijving der luidspreker-viool. Boven op de kam K is een beugel B gezet, die door de twee middelste snaren op zijn plaats wordt gehouden. De beugel is aan het electromagnetisch aangedreven anker A bevestigd en oefent bij het trillen van het anker een koppel uit in het vlak van de kam. De zware massa van de magneet M en de poolschoenen blijft practisch in rust. Het gewicht hiervan wordt door een aan de uiteinden der viool vastgebonden touwtje gedragen (zie fig. 7).

Voor den componist speelt bij de meervoudig bezette stemmen zonder twijfel ook een belangrijke rol de koor-werking, die verkregen wordt door de een weinig van elkaar afwijkende inzetten, door de kleine verschillen in de toonhoogte en in het vibrato, alsmede door de eenigszins verschillende timbres der violen en de uitspreiding der geluidsbron(nen) over een grootere ruimte. Van deze vier factoren zouden de eerste twee verloren gaan, wanneer we de 24 meespelende violisten zouden vervangen door 24 meespelende violen. Het is

[5]) De variatie der spanning bij het verschillend afstemmen tijdens het spel is in dit opzicht een effect van de tweede orde, dat we mogen verwaarloozen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 7. Reeks van luidspreker-violen.

mogelijk, dat dit een ernstig bezwaar zou beteekenen. Alleen de practijk zal hierover kunnen beslissen.

De beschouwing over de koor-werking heeft echter ook consequenties voor de toepassing van de methode voor de soloviool. Immers de twee laatstgenoemde factoren — verschillen in timbre en uitspreiding van het stralende oppervlak — doen nu als bijkomstige verschijnselen bij de soloviool hun intrede, en het is niet ondenkbaar, dat de indrukken, die de luisteraar ontvangt, hierdoor merkbaar zouden kunnen veranderen. Of het verschil toelaatbaar is of misschien zelfs een verbetering beteekent — dat zijn wederom vragen, die niet op grond van laboratoriumproeven te beantwoorden zullen zijn.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

EENIGE INTERESSANTE VERLICHTINGSSYSTEMEN OP DE WATERTENTOONSTELLING TE LUIK

door L. C. KALFF. 628.974

De watertentoonstelling te Luik, die in 1939 werd gehouden en die in de eerste plaats werd opgezet om de aandacht te vestigen op het nijvere industriecentrum van Oost-België, heeft zich helaas door den oorlog gedwongen gezien te vroeg haar poorten te sluiten. Een groot succes was intusschen al gebleken, het bezoek en de belangstelling van het publiek waren zeer groot. Dit is zeker voor een deel te danken geweest aan de overzichtelijke indeeling, waardoor niet het verwarrende en vermoeiende beeld ontstond van een al te veel omvattende wereldtentoonstelling, en aan de uit aesthetisch oogpunt zeer geslaagde opbouw, die onder de leiding van den jongen achitect Falise tot stand kwam.

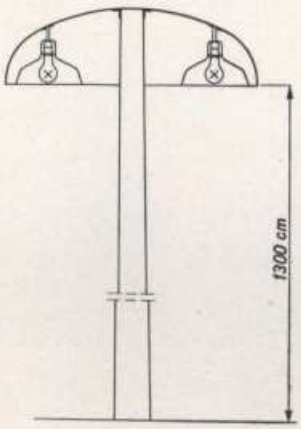
Bij de opzet dezer tentoonstelling is van meet af aan het belang ingezien, de verlichting zooveel mogelijk in één hand te houden. Een vruchtbare en interessante samenwerking met het Philips Lichtadviesbureau is hiervan het gevolg geweest.

De tentoonstelling was ruim opgezet met twee 40 m breede permanente boulevards langs de hier ongeveer 180 m breede Maas. Tot deze zeer wijde open ruimten en de hooge massale tentoonstellingsgebouwen moesten de verlichtingselementen in een goede verhouding staan en het is o.i. de groote verdienste van den architect, dat hij zonder aarzelen de ongewoon groote afmetingen, die uit deze proportie-overweging voortkwamen, heeft aanvaard.

Daar waren in de eerste plaats de groote boulevards langs de Maas. Hier zijn lichtmasten opgericht van 13 m hoogte op afstanden van 50 m met telkens 6 lampen van 300 Dlm, die tezamen over een breedte van 40 m een zeer gelijkmatige verlichting van 40 lux gaven. De zes eenvoudige emaille reflectoren, waarin deze lampen brandden, waren in een koepelvormige helm van eterniet (*fig. 1*) zoodanig ondergebracht, dat men langs de boulevard kijkend geenerlei hinder had van verblindende lichtpunten (zie *fig. 2*). De masten werden door de staalindustrie, die in en om Luik haar zetel heeft, gemaakt uit rondgezette en dichtgelaschte stalen platen. Op deze manier ontstonden prachtige slanke en gladde kolommen, die later permanent voor de straatverlichting zullen worden gebruikt. De wenschelijkheid om het voor de tentoonstelling toegepaste materiaal later nog nuttig te kunnen

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023



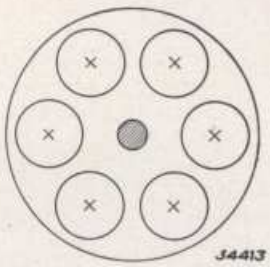


Fig. 1. Constructie der lichtmasten voor de boulevard-verlichting langs de Maas. In een helm van eterniet zijn zes lampen van 300 Dlm ondergebracht.

gebruiken, is overigens één der leidende gezichtspunten bij de opbouw geweest, evenals de gedachte, dat de noodige materialen (wals- en profielijzer, eterniet, houtvezelplaten, glas) zooveel mogelijk door de industrieën rondom Luik moesten kunnen worden geleverd.

Om het aspect van de breede hoofdverkeerswegen te verlevendigen, was een strook gras in het midden gezaaid, terwijl tusschen de hooge masten lagere, meer decoratieve lichtornamenten waren geplaatst, die tevens de extra verlichting voor de bloemperken eromheen leverden (fig. 2). Deze ornamenten bestonden uit 5 m hooge masten, bekroond met een dubbele conus. De bovenste bevatte een luidspreker, terwijl de onderste drie melkglazen bollen, elk voorzien van een 150 Dlm lamp, beschermde. Drie bogen, bezet met in totaal 54 kleine „Argenta"-lampen, gaven hoofdzakelijk het licht op de bloemen. Langs de mast waren drie banen wit geschilderd gaas gespannen, dat van onderaf nog verlicht werd door drie „Cornalux"-spiegellampen van 100 watt (voor de plaatsing dezer lampen zie *fig. 3*). Zooals fig. 2 toont, gaven deze eenvoudige motieven, dank zij de juiste dimensioneering, een zeer bevredigend resultaat.

Het imposante, direct achter de hoofdingang gelegen plein, waarvan de titelfoto een indruk

Fig. 2. Tusschen de masten voor de boulevard-verlichting staan de lichtornamenten voor de verlichting der bloemperken. Ze zijn 5 m hoog en dragen een luidspreker en drie melkglazen ballons, elk met 150 Dlm. De decoratieve gaasbespanning wordt met „Cornalux"-lampen verlicht.

geeft, was in een watertuin herschapen. Deze bevatte decoratieve mozaïeken van bloemen en kleine fonteinen, beeldhouwwerk en looppaden, die met zware gegoten glasplaten bedekt en door hieronder aangebrachte lampen verlicht waren. Daartegen contrasteerden vier enorme masten van 20 m hoogte van dezelfde constructie als de hierboven beschreven masten van 13 m. Hier bevatte de helm uit eterniet echter drie kwiklampen

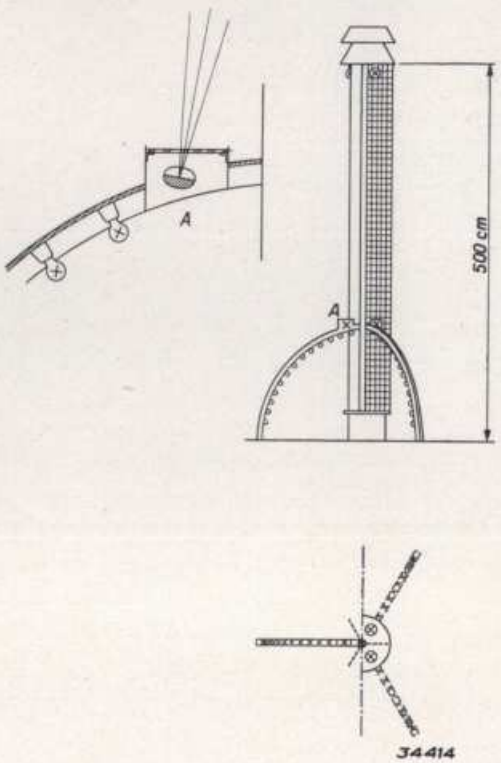


Fig. 3. Constructie van een der ornamenten van fig. 2. De detailteekening *A* geeft de plaatsing weer van één der drie „Cornalux"-lampen voor het verlichten der gaasbespanning.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

HO 2000 met drie gloeilampen van 1500 watt, die tezamen een lichtstroom van 13 500 Dlm leverden. Het centrum kreeg op deze wijze een zeer ruime verlichting, met 60 lux (*fig. 4*).

Het bloemenmozaïek (*fig. 5*) bestond uit vierkante bloemperken, die als de velden van een dambord afwisselden met vierkante waterbassins. Het middelpunt van elk bassin vormde een ongeveer

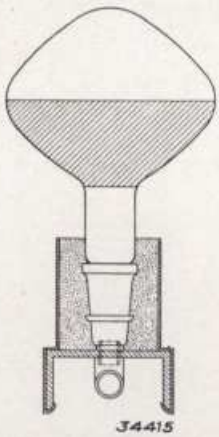


Fig. 6. Constructie en montage van de „Altrilux"-onderwaterlampen.

Fig. 4. Het groote plein achter de ingang is verlicht door vier 20 m hooge masten van soortgelijke constructie als in fig. 1. De helm op elke mast bevat hier echter drie kwiklampen HO 2000 en drie 1500 W gloeilampen, die tezamen een lichtstroom van 13 500 Dlm leveren.

2 m hooge fontein, die 's avonds verlicht werd door middel van 4 „Altrilux"-lampen. Dit zijn lampen van bijzondere constructie en vorm (*fig. 6*), bestemd om onder water te kunnen branden. De ballon is inwendig half verspiegeld, waardoor een goed geconcentreerde lichtbundel wordt verkregen en een afzonderlijke waterdicht afgesloten reflector overbodig is. De lampen worden ingekit in een cy-

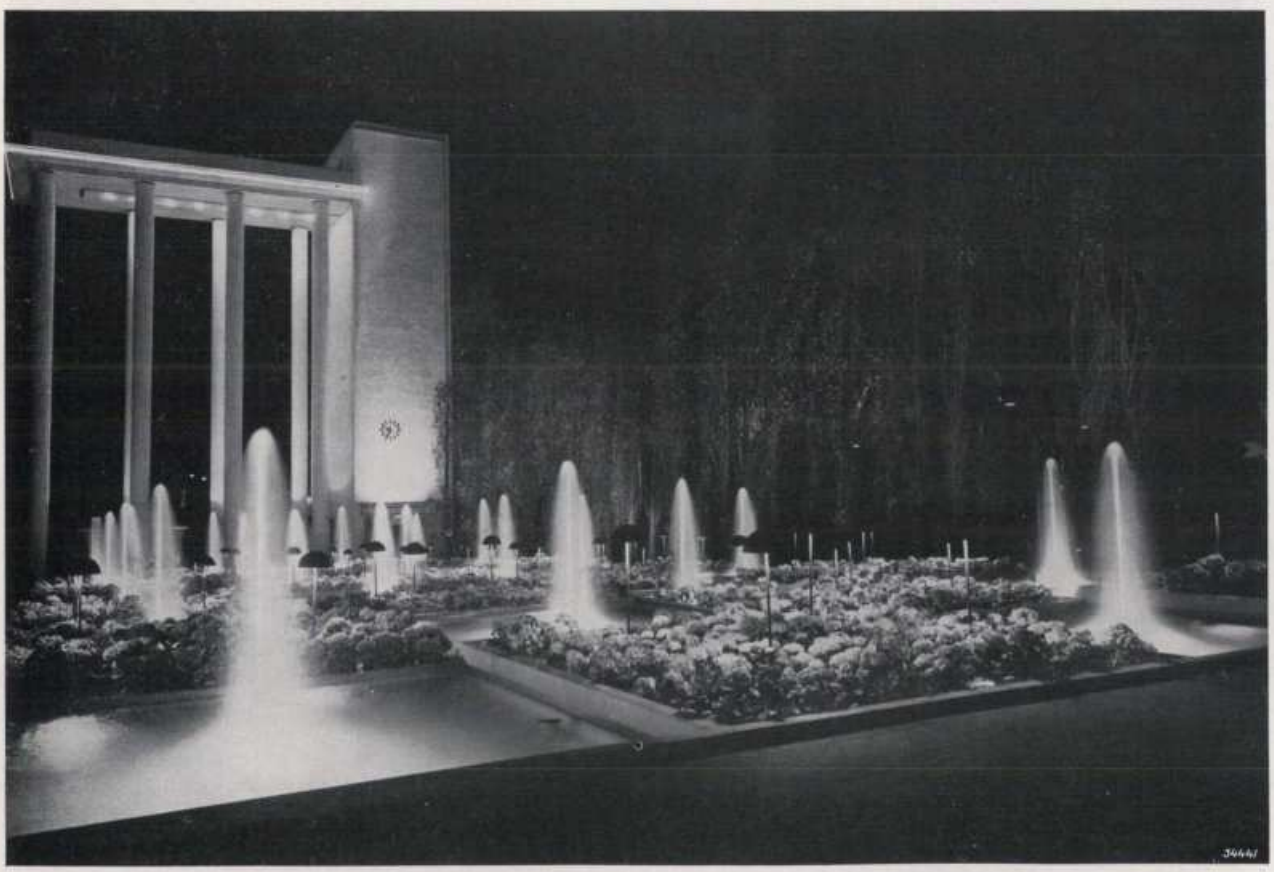


Fig. 5. Het bloemenmozaïek op het groote plein wordt gevormd door een dambord van vierkante bloemperken en waterbassins. De 2 m hooge fontein in elk bassin wordt van onderen verlicht door vier „Altrilux"-onderwaterlampen. Elk bloemperk ontvangt zijn licht van vier „Philiflor"-armaturen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

lindertje, waar ook de lamphouder geheel in wordt opgeborgen. Dit cylindertje moet stevig aan de bodem van het bassin worden bevestigd, want de lamp ondervindt tengevolge van haar groot volume een vrij groote opdrijvende kracht (ca. 2 kg). De lampen worden zoo dicht mogelijk onder de wateroppervlakte gemonteerd, teneinde het lichtverlies te beperken, maar er moet een waterlaag van bepaalde dikte boven de lamp zijn, omdat de lamp anders breekt door het vallende water van de fontein.

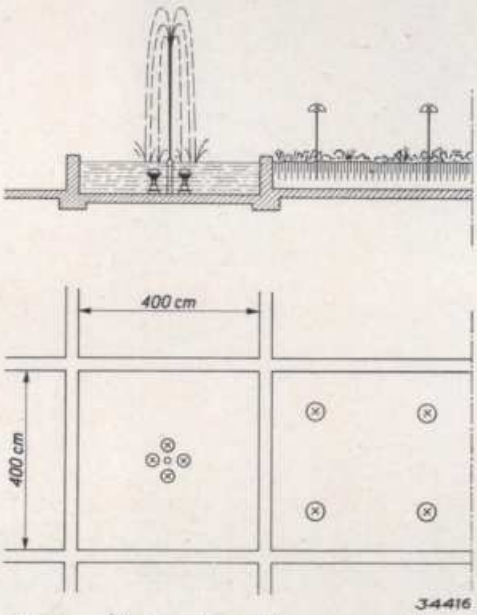


Fig. 7. Plattegrond en doorsnede van een bloem- en een watervierkant.

In Luik was overigens het hooge kalk- en fosfaatgehalte van het water een hinderlijke factor. Hierdoor vormde zich nl. op de brandende lamp binnen een paar dagen een laag ketelsteen, die moeilijk te verwijderen was en zeer veel lichtverlies veroorzaakte. Daarom werd het oorspronkelijk geprojecteerde vermogen voor deze onderwaterlampen verdubbeld.

Elk vierkant bloemperk werd verlicht met vier „Philiflor" armaturen, ieder voorzien van een 125 Dlm gloeilamp (*fig. 7*).

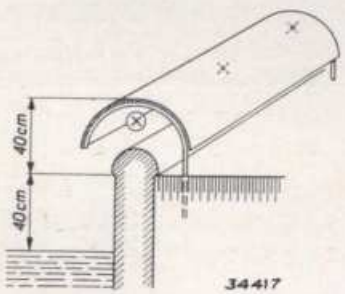


Fig. 8. Constructie der lichtgooten langs de vijvers op het hoofdplein. Het spiegelbeeld der in deze goot geplaatste 40 Dlm lampen wordt in het water zichtbaar.

Fig. 9. Verlichting der beeldengroep aan de rand der vijvers. Men ziet ook de meandervormige omlijsting der vijvers met lichtgooten.

In het midden van het groote plein lagen, zooals op de titelfoto te zien is, twee vijvers met fonteinen en zes groote beelden. Deze vijvers werden omzoomd door een meandervormige lichtlijn, gevormd door een rij lampen van 40 Dlm in een lichtgoot van eterniet (*fig. 8*). Deze lampen waren zelf niet te zien, maar hun spiegelbeeld was steeds zichtbaar in het watervlak, dat zich in voortdurende beweging bevond door het neervallende water van de fonteinen. Hier werden in totaal 1800 lampen geïnstalleerd. Twaalf spiegelarmaturen met 250 watt zoeklichtlampen verlichtten de beeldengroepen (*fig. 9*).

Een ander interessant gedeelte van de verlichting op de tentoonstelling vormde de versiering met licht langs de 180 m breede Maas. Deze breede strook water moest in de verlichting betrokken worden, opdat de tentoonstelling des avonds niet door het donkere water in tweeën werd gesneden. Nu is het met lichtbronnen van beperkte afmetingen haast onmogelijk, een stilstaande wateroppervlakte zicht-

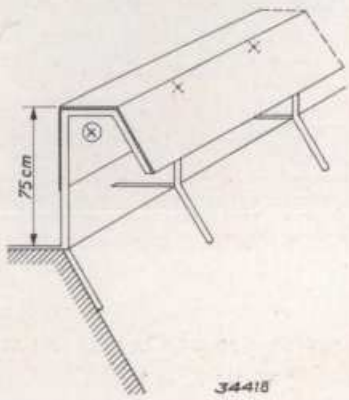


Fig. 10. Constructie der lichtgooten van eterniet langs de oevers van de Maas. De hierin geplaatste rij van 40 Dlm lampen verlicht de steenen beschoeiïng van de Maas en maakt door de weerkaatsing in het gerimpelde water voor een beschouwer aan de overzijde het geheele wateroppervlak zichtbaar.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 11. Het effect van de oeververlichting langs de Maas.

baar te maken, omdat het water alleen spiegelend reflecteert. Het water van de Maas is echter door de stroming steeds in beweging. Evenals het spiegelbeeld van de maan door een gerimpeld wateroppervlak uiteengetrokken wordt tot een lange lichtstreep, zou derhalve een lange rij van lampen langs de oever voor den bezoeker aan de overzijde de geheele stroom als een glinsterend lichtend oppervlak doen verschijnen. Proefnemingen bleken deze verwachtingen te bevestigen. Daarom werden aan elke zijde van de rivier $3^1/_2$ km lange eterniet-gooten (*fig. 10*) opgesteld met op iedere halve meter een 40 Dlm lamp. Deze lampen verlichtten dus de beschoeiïng en spiegelden samen met de verlichte gebouwen in het sterk gerimpelde wateroppervlak (*fig. 11*).

Op de Maas zou men talrijke lichtfonteinen hebben kunnen maken, waarbij echter in het oog moest worden gehouden, dat de groote afmetingen van het watervlak een normale fontein klein en nietig zouden doen schijnen. Men heeft zich daarom beperkt tot één eenvoudige lichtfontein (*fig. 12*), gebouwd op een ponton, maar dan van afmetingen, die in verhouding waren met de Maas. Tot honderd meter hoog kon die fontein spuiten, waarvoor pompen met motoren van 1200 PK noodig waren. De avondverlichting van deze drijvende fontein geschiedde met wit en geel licht door 64 reflectoren met 3 kW lampen, die waterdicht in de ponton waren gemonteerd.

In fig. 12 is nog een andere opmerkelijke toepassing van het licht te zien. De architect wenschte 's avonds ook een begrenzing van de ruimte naar boven toe. Hiertoe werden twee platte lichtbundels

Fig. 12. Groote fontein midden in de Maas. Des avonds werd de fontein wit en geel verlicht.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Fig. 13. Door twee schijnwerpers met een gezamenlijke lichtstroom van 24 000 Dlm werden twee breede platte bundels licht als „plafond" boven de tentoonstelling uitgespreid.

van blauwachtig wit kwiklicht op 100 m hoogte, van de top van de mast van het kabelbaantje over de tentoonstelling geprojecteerd. Door de strooiïng aan stof- en neveldeeltjes teekenden deze waaiervormige bundels zich, van onderen gezien, duidelijk af en vormden zoodoende een soort afsluiting boven het terrein der tentoonstelling. De bundels werden verkregen door middel van de in *fig. 13* weergegeven toestellen. Twee watergekoelde superhoogedruk kwiklampen met een gezamenlijke lichtstroom van 24 000 Dlm zijn hier opgesteld in parabolische cylinderspiegels. Deze lampen, type SP 2000, verbruiken slechts 2,3 kW voor een lichtstroom van 12 000 Dlm. De verkregen bundels zijn zeer plat en breed (2° in de hoogte, 120° in de breedte), en komen overigens geheel overeen met de lichtbundels, die gebruikt worden voor het verlichten van de landingsbaan van vliegvelden (Philips techn. T. 4, 97, 1939).

Welke belangrijke plaats de verlichting in de opzet van de watertentoonstelling heeft ingenomen, blijkt wel ten duidelijkste uit het feit, dat er in totaal 12 000 kW voor licht, benevens 16 000 kW voor kracht werd geïnstalleerd. In midden Juli was het stroomverbruik per dag 35 000 kWh, vóór de ontijdige sluiting verwachtte men in de maand September een verbruik van 50 000 kWh per dag.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

KLEURENFOTOGRAFIE VOLGENS DE ADDITIEVE METHODE

door J. F. H. CUSTERS. 535.623 : 771.534.53 : 778.6

De grondslagen en de natuurlijke beperkingen van de fotografische weergave van kleuren worden besproken. Aan de hand van een principieel zeer eenvoudige methode van additieve kleurreproductie, waarbij beelden in drie kleuren op elkaar worden geprojecteerd, wordt aangetoond, welke beteekenis voor een getrouwe weergave gehecht moet worden aan een streng lineair verband tusschen de lichthoeveelheden aan het begin en aan het einde van het geheele fotografische procédé. Aan de eisch van lineariteit kan worden voldaan, wanneer de in combinatie gebruikte fotografische materialen voor negatief en diapositief bepaalde eigenschappen hebben. Met name is het gewenscht, dat de doorlatingskrommen van beiden elkaars spiegelbeeld vormen, waarop door Kremer is gewezen. Er worden verschillende methoden beschreven, volgens welke dergelijke doorlatingskrommen in practische gevallen kunnen worden verwezenlijkt. De beschreven methoden zijn in het Philips Laboratorium met verschillende fotografische materialen beproefd, en er is gebleken, dat daarmee een practisch volkomen getrouwe kleurweergave kan worden verkregen.

Grondslagen der kleurenfotografie

Wanneer licht van twee verschillende kleuren gelijktijdig op eenzelfde punt van ons netvlies valt, nemen wij in het algemeen geen der beide oorspronkelijke kleuren waar, maar een mengkleur. Spectraal zuiver rood en groen bijv. leveren — in een bepaalde verhouding der verlichtingssterkten op het netvlies gemengd — tezamen geel; rood en violet leveren tezamen purper, alle spectrale kleuren tezamen het daglicht (wit). De ervaring leert, dat men op deze wijze elke kleur, behalve een gedeelte der spectraal zuivere kleuren zelf, door mengen van andere kleuren kan voortbrengen, en met name blijkt het mogelijk, met slechts drie geschikt gekozen „grondkleuren" het grootste gedeelte van alle bestaande kleurschakeeringen te produceeren [1]).

Dit feit vormt de grondslag van vrijwel alle methoden van kleurenfotografie. Hoe verschillend in de details de werkwijzen daarbij ook mogen zijn, steeds wordt uitgegaan van het volgende principe: van het object worden langs fotografische weg drie beelden vervaardigd, zoodanig, dat de doorlaatbaarheid in elk dezer beelden een maat vormt voor de in het object waar te nemen hoeveelheid licht van één der drie gekozen grondkleuren. Bij het reproduceeren worden de drie grondkleuren weer gemengd in die verhouding, welke (voor elk punt van het object) door de drie opgenomen beelden is bepaald.

Het reproduceeren kan daarbij op twee verschillende wijzen worden uitgevoerd, nl. langs „additieve" of langs „subtractieve" weg. Bepalen we onze gedachten tot het reproduceeren door projectie, dan kunnen we de twee methoden als volgt omschrijven. Bij de additieve weergave staan de drie beelden (diapositieven) naast elkaar, en drie gekleurde lichtbundels, waarvan elk slechts één der beelden passeert, worden bij elkaar gevoegd. Bij de subtractieve methode staan de drie diapositieven, die in de complementaire kleuren der drie grondkleuren gekleurd moeten zijn, achter elkaar, en van een witte lichtbundel, die alle drie diapositieven passeert, wordt hierin achtereenvolgens het teveel aanwezige licht van elke grondkleur weggenomen; voor de ontstaande mengkleur heeft dit hetzelfde effect als het bij elkaar voegen der grondkleuren. De subtractieve methode heeft het voordeel, dat minder licht bij de reproductie verloren gaat. Dit is gemakkelijk in te zien, wanneer men vergelijkt, hoe de indruk „wit" volgens de beide methoden wordt teweeggebracht. Bij additieve reproductie kan men de drie gekleurde lichtcomponenten verkrijgen door geschikt filteren van het voor de weergave ter beschikking staande witte licht. Zoodoende is, wanneer de drie lichtcomponenten tot „wit" bijeen worden gevoegd, slechts hoogstens 1/3 (globaal gerekend) van het oorspronkelijke witte licht overgebleven. Bij subtractieve reproductie daarentegen ontstaat het „wit", wanneer in geen der drie diapositieven iets van het ter beschikking staande witte licht wordt weggenomen, hier blijft dus het oorspronkelijke witte licht geheel onverzwakt.

Met het oog op dit voordeel heeft de subtractieve methode grootere practische beteekenis gekregen, vooral wanneer het om het projecteeren in groote bioscopen gaat, waar men van de beschikbare hoeveelheid licht niet veel mag missen, wil het beeld op het doek niet te donker worden. Toch ver-

[1]) Dit is uitvoerig uiteengezet in het artikel: P. J. Bouma, Het karakteriseeren van kleurindrukken door kleurenruimte en kleurendriehoek, Philips techn. T. 2, 39, 1937.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

dient ook de additieve methode belangstelling, daar zij principieel eenvoudiger te werk gaat en minder eventueele oorzaken voor een foutieve weergave der kleuren in zich bevat. In de volgende beschouwingen willen we ons beperken tot de additieve methode.

Beperkingen en voorwaarden der kleurenfotografie

Om de gedachten te bepalen, nemen wij een methode van kleurenfotografie onder de loupe, die in principe zeer eenvoudig is (*fig. 1*). Men neemt drie filters *a*, *b*, *c*, waarvan elk een zoodanige spectrale doorlatingskromme heeft, dat bij bestraling met wit licht het doorgelaten restant van het licht één der grondkleuren *A*, *B*, *C* vertoont (bijv. rood, groen en blauw). Van het te fotografeeren object worden op de gewone wijze drie opnamen gemaakt, waarbij echter telkens één der drie filters voor de lens wordt geplaatst. Van de drie verkregen negatieven worden drie diapositieven α, β, γ vervaardigd. Nu wordt α door het filter *a* heen, β door *b* en γ door *c*, gelijktijdig geprojecteerd, dusdanig, dat de drie beelden op het doek samenvallen. Op elk punt van het beeld ontstaat dan een mengkleur, die aan de kleur van het object beantwoordt.

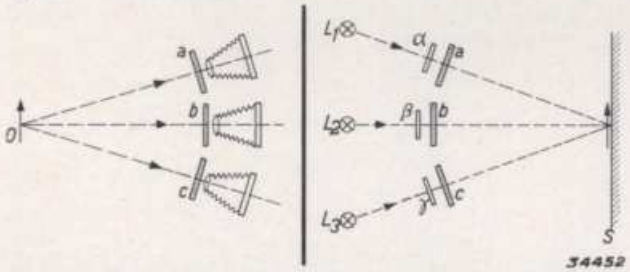


Fig. 1. Schema van een methode voor additieve kleurenfotografie. Het object *O* wordt driemaal gefotografeerd, waarbij drie filters *a*, *b*, *c*, (bijv. rood, groen en blauw) worden tusschengeplaatst. Van de drie negatieven worden op de gewone wijze drie diapositieven α, β, γ gemaakt. Deze worden gelijktijdig met drie witte lichtbronnen $L_{1,2\,3}$ op een scherm *S* geprojecteerd, waarbij weer dezelfde filters *a*, *b*, *c* tusschengeplaatst worden. (Duidelijkheidshalve zijn hier drie camera's naast elkaar geteekend, terwijl in werkelijkheid de drie opnamen na elkaar met één camera worden gemaakt.)

We hebben ons voorzichtig uitgedrukt en gezegd: „beantwoordt". Want een volkomen getrouwe weergave van alle kleuren is op deze wijze niet te bereiken. In de aanhef hebben we immers reeds melding gemaakt van het feit, dat bijv. een gedeelte der spectraal zuivere kleuren niet door mengen geproduceerd kunnen worden. De beperking, die ons te dien aanzien is opgelegd, kan verduidelijkt worden met behulp van de voorstelling der kleuren in een kleurendriehoek [1]), zie *fig. 2*. Elk punt binnen de begrenzing van de figuur stelt een kleurnuance voor en omgekeerd is elke kleurnuance hierin door een punt vertegenwoordigd. De spectrale kleuren liggen op de kromlijnige begrenzing. Een kleur, die door mengen van twee kleuren wordt verkregen, ligt op de verbindingslijn der twee uitgangskleuren.

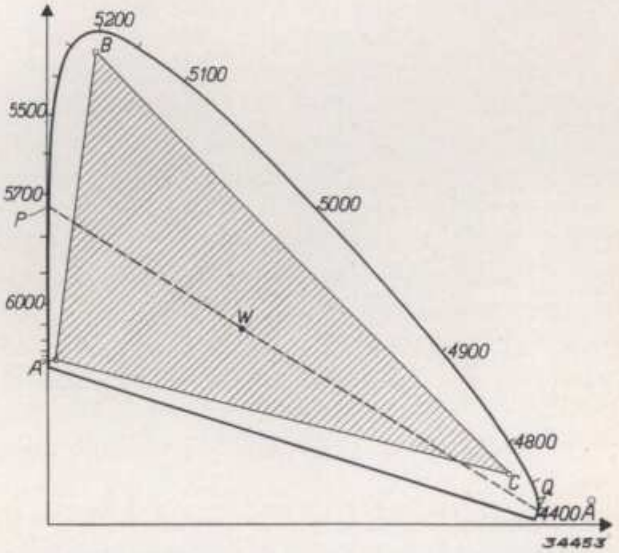


Fig. 2. Kleurenvlak. Elk punt stelt een kleurnuance voor. De verbindingslijn van twee kleuren (bijv. *P* en *Q*) bevat alle hieruit te verkrijgen mengkleuren. Op de kromlijnige begrenzing liggen de geheel zuivere (spectrale) kleuren. Met drie grondkleuren *A*, *B*, *C* kunnen door mengen alle kleuren binnen de driehoek *ABC* worden verkregen. *W* is het punt „wit". (Met behulp van het aangegeven assenstelsel is de ligging van elke kleur in cijfers aan te geven).

Met twee grondkleuren *P* en *Q* kan men dus alle kleuren voortbrengen, die in de figuur op de verbindingslijn *PQ* liggen. Met drie grondkleuren *A*, *B*, *C* kunnen alle kleuren gerealiseerd worden, die binnen de driehoek *ABC* vallen. Ligt een kleur buiten de driehoek, dan beteekent dit, dat één der twee mengverhoudingen der grondkleuren negatief wordt, dwz. licht van één grondkleur zou met negatieve intensiteit bijgemengd moeten worden. Daar dit niet te verwezenlijken is en daar een driehoek met drie kleuren als hoekpunten steeds slechts een gedeelte van het kromlijnig begrensde kleurenvlak kan beslaan, zien we direct, dat een gedeelte der kleuren (met name zeer zuivere kleuren) buiten het bereik der kleurenfotografie met drie grondkleuren valt.

De ervaring leert, dat deze beperking voor de practijk niet zoo ernstig is, mits men maar de grondkleuren geschikt kiest (zoodat nl. het belangrijkste gedeelte van het kleurenvlak in de driehoek gevangen wordt). Maar ook wanneer wij ons bij de genoemde beperking hebben neergelegd, mogen wij niet zonder meer verwachten, dat het procédé der kleurenfotografie, zooals het hier werd beschreven, een volmaakte overeenstemming tusschen geproduceerde en oorspronkelijke kleur levert. In de eerste plaats is het hiervoor niet voldoende,

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

dat de filters de gewenschte grondkleuren vertoonen. Eenzelfde kleur kan met geheel verschillende spectrale doorlaatbaarheidskrommen der filters verkregen worden. Het blijkt nu [2]), dat voor een getrouwe kleurweergave de doorlaatbaarheidskromme van elk filter (gecombineerd met de spectrale verdeeling van de lichtbron en de spectrale gevoeligheidskromme van het fotografisch materiaal), een zeer bepaald, uit de eigenschappen van het menschelijk oog en de gekozen grondkleuren af te leiden verloop moet hebben. Het merkwaardige hierbij is, dat in de drie berekende filterkrommen ook negatieve gedeelten voorkomen, dwz. dat het systeem filter + fotografische emulsie voor licht van sommige golflengten een gevoeligheid kleiner dan nul zou moeten hebben (zie het aangehaalde artikel [2]). Dit is slechts op een zeer gekunstelde wijze te realiseeren, die voor practische toepassing nauwelijks in aanmerking komt. Men zal dus met benaderingen van de vereischte filterkrommen genoegen moeten nemen, hetgeen in de practijk ook heel goed mogelijk blijkt te zijn.

In de tweede plaats moet voor een getrouwe kleurweergave de eisch worden gesteld, dat voor elk punt van het object de menging der drie door de diapositieven doorgelaten lichtcomponenten in de juiste verhoudingen gewaarborgd is. Hoe belangrijk deze eisch is, kan door een voorbeeld geïllustreerd worden. Stel, dat de kleuren P (spectraal geel van ca. 5730 Å) en Q (spectraal blauw van ca. 4470 Å) in een zoodanige verhouding gemengd zijn, dat de kleur W = wit wordt verkregen (zie fig. 2). Met behulp van de ter beschikking staande experimenteele gegevens [3]) vindt men nu, dat bij een verhooging der intensiteit van P met slechts 3,7% reeds een gele tint wordt waargenomen.

De mengverhouding der drie grondkleuren kan men voor een willekeurig punt van het object zeer eenvoudig op de juiste waarde instellen door de lichtbronnen bij de projectie der drie beelden geschikt te regelen. Opdat dan echter ook voor alle andere punten de juiste mengverhouding ontstaat, moet voor elk der drie diapositieven gelden, dat de doorgelaten lichthoeveelheid I_P in elk punt evenredig is met de lichthoeveelheid I_O, die dat punt van het bijbehoorende negatief bij de opname ontvangen heeft.

De wijze, waarop aan deze cardinale eisch kan worden voldaan, zal het onderwerp zijn van de volgende beschouwingen.

[2]) A. C. Hardy en F. L. Wurzburg Jr., J. Opt. Soc. Am. **27**. 227, 1937.

[3]) L. A. Jones en E. M. Lowry, J. Opt. Soc. Am. **13**, 25, 1926.

Consequenties voor de zwartings- resp. doorlatingskrommen

Teneinde de strekking van de genoemde eisch toe te lichten, willen we de gang van zaken bij het opnemen, copieeren en projecteeren meer in detail bezien (vgl. de schematische voorstelling *fig. 3*). Eenvoudigheidshalve spreken we daarbij doorgaans slechts van één grondkleur.

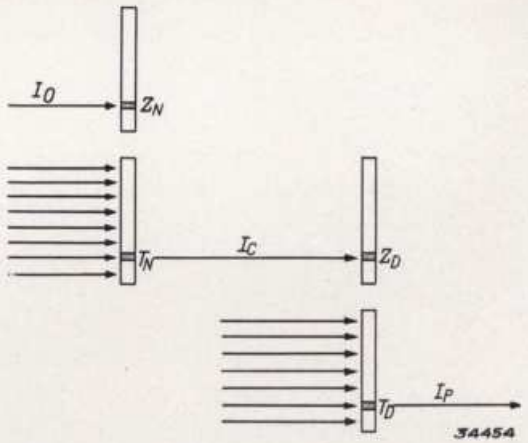


Fig. 3. Bij de opname levert een lichthoeveelheid I_O een zwarting Z_N (het negatief). Bij het copieeren wordt dan door dit punt van het negatief de fractie T_N van het opgeworpen licht doorgelaten; zoodoende komt op het diapositiefmateriaal de lichthoeveelheid I_C terecht, die daar een zwarting Z_D veroorzaakt. Bij het projecteeren laat het diapositief in dit punt de fractie T_D van het opgeworpen licht door; op het scherm valt de lichthoeveelheid I_P.

Door de lichthoeveelheid I_O, die bij de opname op de fotografische plaat valt, ontstaat op deze een zwarting Z_N (het negatief). Men definieert de zwarting als

$$Z_N = \lg \frac{1}{T_N} ,$$

waarbij T_N de doorlaatbaarheid beteekent, d.i. de fractie, die de gezwarte plaat van een op haar vallende lichthoeveelheid doorlaat. Tusschen Z_N en I_O bestaat een verband, dat karakteristiek is voor het gebruikte fotografische materiaal [4]) en dat beschreven wordt door een „zwartingskromme", waarin Z_N als functie van lg I_O wordt uitgezet, of ook door een „doorlatingskromme", waarbij T_N als functie van I_O wordt uitgezet. In *fig. 4* zijn beide krommen voor eenzelfde materiaal geteekend. Typisch voor de meeste zwartingskrommen is, dat zij bij kleine lichthoeveelheid I_O slechts langzaam stijgen (de kromme heeft een „teen"), om daarna in een min of meer uitgestrekt rechtlijnig gedeelte over te gaan, en tenslotte bij hooge I_O een soort verzadiging te bereiken.

[4]) Ondersteld, dat het ontwikkelen steeds op dezelfde wijze geschiedt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

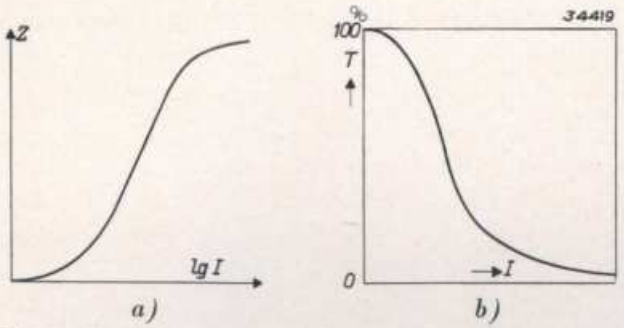


Fig. 4. *a*) Zwartingskromme van een fotografisch materiaal. *b*) Doorlatingskromme.

Bij het copieeren van het negatief (zie weer fig. 3) valt op het copieermateriaal een lichthoeveelheid I_C, die evenredig is met T_N, en die een zwarting Z_D veroorzaakt (het diapositief). Z_D is nu door de zwartingskromme van het diapositiefmateriaal bepaald. Bij het projecteeren valt op het scherm een lichthoeveelheid I_P, die evenredig is met de doorlaatbaarheid T_D van het diapositief.

Of nu de hierboven geformuleerde eisch

$$I_P \sim I_O \quad \ldots\ldots\ldots \quad (1)$$

vervuld is, zal klaarblijkelijk afhangen van de vorm der beide zwartingskrommen Z_N en Z_D. We willen hier verschillende vormen onderzoeken, waarmede aan verg. (1) kan worden voldaan.

Rechtlijnige zwartingskrommen

Stel, dat beide zwartingskrommen Z_N en Z_D rechtlijnig verloopen en dat Z_N de helling γ_N heeft, Z_D de helling γ_D. Dan geldt, wanneer $c_{1,2\ldots}$ verschillende optredende constanten beteekenen, die ons in dit verband niet interesseeren:

$$\lg \frac{1}{T_N} = \gamma_N \lg I_O + c_1,$$

$$\lg \frac{1}{T_D} = \gamma_D \lg I_C + c_2.$$

Met behulp van $I_C = c_3 T_N$

en $I_P = c_4 T_D$

volgt hieruit direct:

$$\lg I_P = \gamma_N \gamma_D \lg I_O + c_5.$$

Aan verg. (1) is dus voldaan, wanneer

$$\gamma_N \gamma_D = 1 \quad \ldots\ldots\ldots \quad (2)$$

Dit beteekent, dat de twee rechtlijnige zwartingskrommen elkaars spiegelbeeld moeten zijn ten opzichte van een 45°-lijn (*fig. 5*).

Ook in de gewone zwart-wit-fotografie is verg. (2), de zg. voorwaarde van Goldberg, van belang, wanneer het gaat om getrouwe weergave van alle helderheidsschakeeringen. De toelaatbare afwijkingen zijn daar echter aanzienlijk grooter dan bij de kleurenfotografie, aangezien verkeerde helderheidsschakeeringen het oog niet zoo gauw aanleiding geven tot het oordeel „onnatuurlijk", als dit bij verkeerde kleurnuancen het geval kan zijn.

We hebben hier ondersteld, dat de zwartingskrommen rechtlijnig verloopen. Inderdaad bezitten, zooals reeds werd vermeld, de zwartingskrommen der meeste fotografische materialen een min of meer uitgestrekt rechtlijnig gedeelte. Men kan dus aan verg. (2) voldoen, wanneer maar alle optredende lichthoeveelheden — bij de opname en bij het copieeren — in de rechtlijnige gedeelten vallen. Speciaal voor de kleurenfotografie is dit echter een zeer onaangename beperking, daar hierdoor kleine lichthoeveelheden, die nog in de „teen" van de zwartingskromme vallen, niet tot hun recht zouden komen, terwijl men tengevolge van de lichtverliezen bij de kleurenfotografie juist vaak op de „teen" van de kromme aangewezen is, en reeds geringe hoeveelheden van één grondkleur de mengkleur zeer sterk kunnen beïnvloeden.

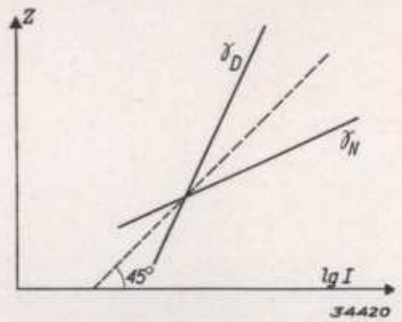


Fig. 5. Twee rechtlijnige zwartingskrommen voor het negatief en het diapositief. De hellingen γ_N en γ_D zijn zoodanig, dat de lijnen elkaars spiegelbeeld vormen ten opzichte van een 45°-lijn.

Niet-rechtlijnige zwartingskrommen

Het blijkt nu mogelijk te zijn ook zonder een rechtlijnig verloop der zwartingskromme aan verg. (1) te voldoen. Aangezien de logarithmische voorstelling in een zwartingskromme voornamelijk wordt gebruikt met het oog op het hierdoor verkregen eenvoudige rechtlijnige verloop, waarvan we nu juist willen afzien, kunnen we voor het volgende beter van de logarithmische voorstelling afstappen en rechtstreeks de doorlatingskromme (fig. 4*b*) gebruiken.

In *fig. 6* zijn de doorlatingskrommen van een

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

negatief en een diapositief weergegeven, die in logarithmische voorstelling géén rechte lijn zouden opleveren en waarmede toch een lineaire weergave volgens verg. (1) zou worden verkregen. Een bepaalde lichthoeveelheid, die de grootste voorkomende zwarting, dus de kleinst mogelijke doorlaatbaarheid veroorzaakt, is in de figuur gelijk 100% gesteld. Evenzoo is de doorlating in een onbelicht gedeelte (waar dus slechts „sluier" aanwezig is) gelijk 100% gesteld. Het kenmerkende van de twee krommen is, dat zij elkaars spiegelbeeld vormen ten opzichte van de 45°-lijn. Wanneer dus een lichthoeveelheid I_1% een doorlaatbaarheid T_1 teweegbrengt, brengt een lichthoeveelheid, die numeriek gelijk is aan T_1, weer een doorlaatbaarheid voort, die numeriek gelijk is aan I_1. Aan verg. (1) is derhalve voldaan, wanneer men er voor zorgt, dat de evenredigheidsfactor tusschen I_C en T_N bij het copieeren gelijk aan 1 wordt. Dit komt hierop neer, dat men de voor het copieeren gebruikte lichthoeveelheid nauwkeurig gelijk moet maken aan die hoeveelheid, die in de figuur met 100% is aangeduid.

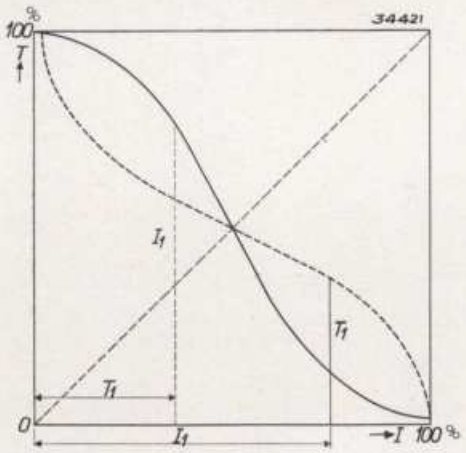


Fig. 6. Doorlatingskrommen, die elkaars spiegelbeeld zijn ten opzichte van de 45°-lijn (bijv. getrokken lijn voor het diapositief, gestippelde lijn voor het negatief).

Laat zich nu de genoemde voorwaarde, dat de twee doorlatingskrommen elkaars spiegelbeeld moeten zijn, ook practisch verwezenlijken? De getrokken kromme in fig. 6 hebben we een vorm gegeven, die typisch is voor de meeste fotografische materialen. (Het langzaam dalende beginstuk der kromme correspondeert daarbij met de „teen" van de zwartingskromme.) De gestippeld geteekende spiegelbeeldkromme daarentegen heeft een verloop, dat wel zeer sterk afwijkt van hetgeen men bij de normale emulsies aantreft.

Door Dr. P. Kremer te Bilthoven werd een interessant procédé aangegeven, waardoor men de spiegelbeeldkromme met goede benadering kan verwezenlijken. Stel, dat bij normale belichting van het negatief de kromme *1* in *fig. 7* verkregen

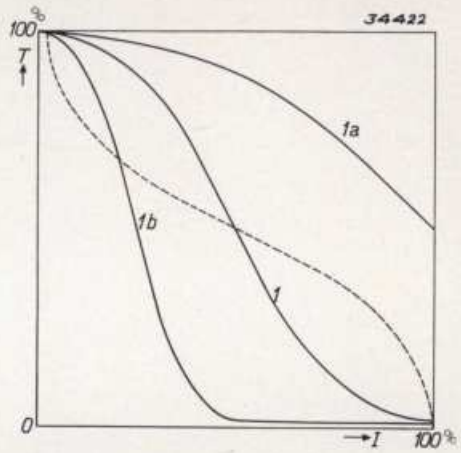


Fig. 7. Doorlatingskromme *1* van het normaal belichte negatief (spiegelbeeld hiervan gestippeld). Een onderbelicht negatief heeft een doorlatingskromme *1a*, een overbelicht negatief een kromme *1b*.

wordt. Is het negatief met f-maal de normale lichthoeveelheid belicht, dan krijgt men een doorlatingskromme van het type *1a* resp. *1b*, die men eenvoudig kan construeeren door het stuk $0\text{-}f\cdot100\%$ der kromme *1* uit te rekken, resp. samen te persen tot de abscis-schaal 0-100%. Bij kromme *1a* is $f<1$, het negatief is onderbelicht, de doorlatingskromme loopt vlakker dan bij normale belichting (*1*). Bij kromme *1b* is $f>1$, het negatief is overbelicht, de doorlatingskromme loopt steiler dan bij normale belichting. Het gestippeld geteekende spiegelbeeld van kromme *1* heeft nu echter juist de eigenschap, dat het in het gedeelte rechts van het snijpunt met kromme *1* vlakker, in het gedeelte links daarvan steiler verloopt dan kromme *1*, wanneer men afziet van de uiterste stukken, nabij $I=0$ en 100%. Inderdaad blijkt het mogelijk, de spiegelbeeldkromme te benaderen door middel van een combinatie van een onderbelicht en een overbelicht negatief, die achtereenvolgens op eenzelfde diapositief worden gecopieerd. Voor het copieeren van de beide negatieven moet daarbij een fractie F_1 resp. F_2 van de normale lichthoeveelheid gebruikt worden. De vereischte factoren f_1 en f_2 voor het onder- resp. overbelichten der negatieven, alsmede de factoren F_1 en F_2 voor het copieeren, kan men volgens Kremer door een eenvoudige constructie uit de gedaante der doorlatingskromme *1* afleiden. Dit is in *fig. 8* en het daarbij behoorende onderschrift toegelicht. De met deze constructie te verkrijgen benadering der spiegelbeeldkromme is in het algemeen vrij goed, zoodat, wanneer het diapositief de oorspronkelijke doorlatingskromme *I* heeft, in een zeer groot in-

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

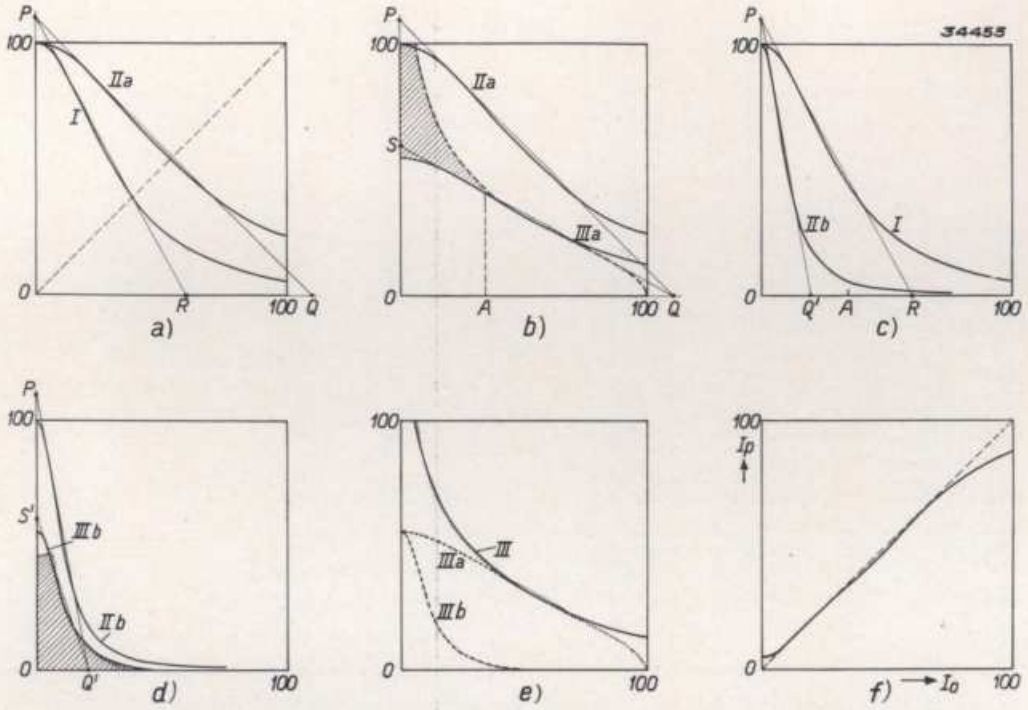


Fig. 8. *a*) Kromme *I* is de normale doorlatingskromme van het voor negatief en diapositief te gebruiken materiaal. Een groot gedeelte der kromme is op de aangegeven wijze door een rechte lijn te benaderen, die de assen in *P* en *R* snijdt. Teeken $OQ = OP$; dan is $f_1 = OR/OQ$ de factor voor het onderbelichten van het eerste negatief, dat zoodoende de doorlatingskromme *IIa* krijgt.

b) Bij het copieeren van het onderbelichte negatief zouden bij gebruik van de normale lichthoeveelheid (100%), de ordinaten van *IIa* de op het diapositief vallende lichthoeveelheden aangeven. Gewenscht zijn echter de gestippelde hoeveelheden (spiegelbeeld van kromme *I*). Derhalve wordt voor het copieeren slechts de fractie F_1 van de normale lichthoeveelheid genomen, zoodat men als het ware met doorlatingskromme *IIIa* werkt, met $F_1 = OS/OP$. In de hier weergegeven constructie is $F_1 = f_1$ gekozen. Het linkergedeelte van *IIIa* verloopt te laag, hier zou nog het gearceerde vlak aangevuld moeten worden. Hiervoor wordt

c) het tweede, overbelichte negatief gebruikt. De factor $f_2 = OR/OQ'$ voor het overbelichten wordt zoodanig gekozen, dat het negatief bij die abscis *A*, van waar af *IIIa* een voldoende benadering der spiegelbeeldkromme is, vrijwel niets meer doorlaat.

d) De vereischte fractie F_2 voor het copieeren van het overbelichte negatief vindt men door het aan te vullen gedeelte der spiegelbeeldkromme (gearceerd vlak van *b*) uit te zetten, en het door een rechte lijn $Q'S'$ te benaderen. Dan is $F_2 = OS'/OP$, en men krijgt de schijnbare doorlatingskromme *IIIb*.

e) Bij het achtereenvolgens copieeren der twee negatieven op één diapositief vallen hierop in totaal dezelfde lichthoeveelheden, alsof er slechts één negatief met de doorlatingskromme *III* gebruikt werd; *III* is de som van *IIIa* en *IIIb* en benadert de verlangde spiegelbeeldkromme van *I* (gestippeld) heel behoorlijk. Het verband tusschen I_P en I_O, dat men tenslotte verkrijgt, is in

f) weergegeven. De 45°-lijn stelt het ideale geval voor.

tensiteitsgebied aan de voorwaarde (1) voor lineaire weergave is voldaan; alleen bij de grootste en de kleinste lichthoeveelheden ontstaan grootere afwijkingen. Door de toelaatbare fouten in deze gebieden wordt een zekere beperking opgelegd aan het, anders tamelijk willekeurige, verloop van de doorlatingskromme *I*, waarvan men wil uitgaan.

Een reeks van proeven, in het Philips Laboratorium volgens deze methode genomen, hebben aangetoond, dat hiermede inderdaad zeer goede kleurreproducties kunnen worden verkregen. Tevens werd echter hierbij gevonden, dat in vele gevallen de conditie der spiegelbeeldkrommen ook door een eenvoudiger kunstgreep kan worden benaderd, nl. door voor het negatief en het diapositief twee geschikte emulsies te kiezen en de ééne hiervan met een bepaalde lichthoeveelheid vóór te belichten. Het effect hiervan is in *fig. 9* duidelijk gemaakt. In fig. 9*a* is een normale doorlatingskromme geteekend; belicht men de geheele plaat vóór de opname (eventueel ook nà of tijdens de opname) met de lichthoeveelheid *V*, dan krijgt zij een aan het punt *A* beantwoordende sluier en er blijft voor de verdere variaties slechts het stuk *A-B* der doorlatingskromme over (fig. 9*b*); opnieuw

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

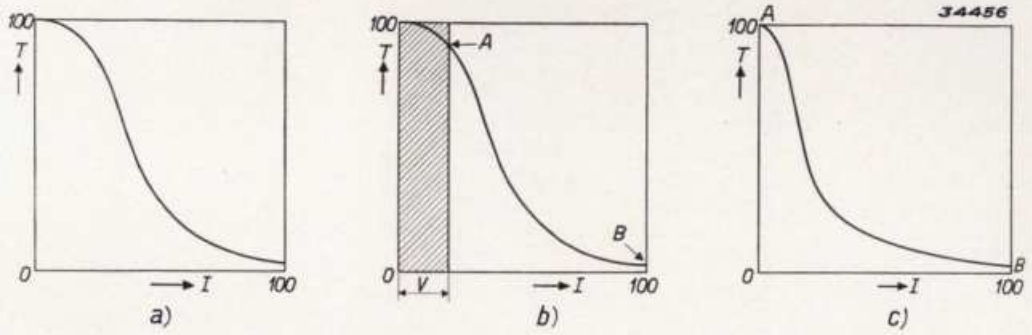


Fig. 9. De gedaante der doorlatingskromme van een fotografisch materiaal kan door vóórbelichten met een geschikt gekozen lichthoeveelheid V (*b*) op bepaalde wijze beïnvloed worden (*c*), zoodat zij bijv. het spiegelbeeld wordt van de kromme van een gegeven ander materiaal.

met abscissen en ordinaten van 0 tot 100% uitgezet, levert dit stuk een nieuwe doorlatingskromme, die in fig. 9*c* is voorgesteld. Met een geschikt gekozen waarde van V kan men bereiken, dat deze doorlatingskromme het spiegelbeeld is van die van een andere (gegeven) emulsie. In *fig. 10* is een voorbeeld weergegeven, dat bij de vermelde proeven kon worden gerealiseerd. Men ziet, dat bij deze eenvoudige methode een behoorlijke benadering van het lineair verband tusschen I_P en I_O verkregen is.

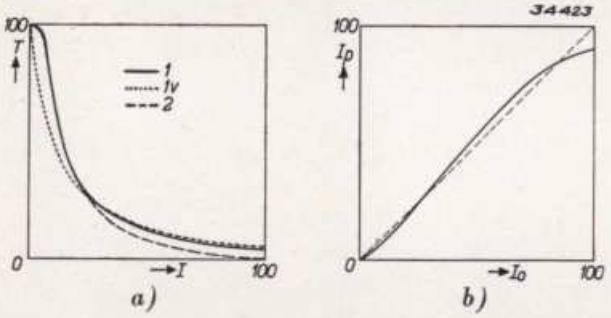


Fig. 10. *a*) De doorlatingskromme I van het negatiefmateriaal is door vóórbelichten veranderd in de kromme Iv, die met goede benadering het spiegelbeeld is van de doorlatingskromme 2 van het diapositiefmateriaal.
b) Het verkregen verband tusschen I_P en I_O.

Tenslotte moge er op gewezen worden, dat een speciaal geval van de spiegelbeeldconditie optreedt, wanneer een doorlatingskromme gegeven is, die symmetrisch verloopt ten opzichte van de 45°-lijn. De kromme is dan tevens haar eigen spiegelbeeld en men kan haar dus voor negatief en diapositief beide gebruiken. Bij onze proeven vonden we inderdaad onder de bestaande merken sommige emulsies, die met goede benadering een dergelijke doorlatingskromme bezitten en waarbij het dus voor het verkrijgen van een behoorlijk lineaire weergave voldoende is om op de nauwkeurige doseering der lichthoeveelheden bij het opnemen en copieeren te letten. Bij sommige materialen kon de symmetrie der doorlatingskromme bereikt worden door geschikte vóórbelichting; in dat geval moet de vóórbelichting natuurlijk zoowel voor het negatief als voor het diapositief worden toegepast.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

DE ELECTROMETERTRIODE EN HARE TOEPASSINGEN

door H. van SUCHTELEN. 621.317.723 : 621.385.3

Daar de anodestroom van een triode beïnvloed kan worden door verandering van de spanning van het stuurrooster, zonder dat in de roosterketen een stroom loopt, is een triode in principe geschikt voor electrostatische spanningsmetingen. In dit artikel worden de eigenschappen en toepassingsmogelijkheden van de electrometertriode 4060 behandeld, die speciaal voor dit doel is ontworpen.

Bij vele onderzoekingen op het gebied van de electrotechniek en van de natuurkunde staat men voor de taak de spanning te meten van spanningsbronnen, die een zeer aanzienlijke inwendige weerstand bezitten. Het is dan natuurlijk van belang, dat de gebruikte spanningsmeter zoo weinig mogelijk stroom opneemt, opdat de gemeten klemspanning zooveel mogelijk gelijk blijft aan de EMK van die spanningsbron.

Soms ook zal men zeer zwakke stroomen willen meten, door deze door een hooge weerstand te voeren en dan de spanning aan deze weerstand te meten. Ook dan is een spanningsmeter met hooge weerstand voorgeschreven, daar de meter de meetweerstand overbrugt en dus de totaal toe te passen weerstand in grootte beperkt, waardoor de gevoeligheid van de schakeling eveneens beperkt wordt.

In dergelijke gevallen kan men met voordeel gebruik maken van een electrometer, waarbij de uitslag veroorzaakt wordt door de electrostatische werking van ladingen, en die dus in principe in het geheel geen stroom verbruikt.

De electrometer is echter in zijn verschillende uitvoeringsvormen (kwadrant-electrometer, snaarelectrometer, enz.) een vrij kostbaar en teer instrument, zoodat zijn toepassingsmogelijkheden beperkt zijn. Een veel robustere installatie kan worden verkregen, wanneer men de electrometer vervangt door een triode, die eveneens een stroomlooze meting van een spanning mogelijk maakt. Immers, de anodestroom kan beïnvloed worden door spanningsvariaties van het stuurrooster, zonder dat stroom door de roosterketen loopt.

Het woord stroomloos moet hierbij met een korreltje zout worden genomen. Zooals algemeen bekend is, treedt onmiddellijk een roosterstroom op, indien het rooster positief wordt ten opzichte van de kathode; dit kan evenwel door een juiste schakeling gemakkelijk vermeden worden. Maar ook als de roosterspanning negatief is, blijft vaak nog een zwakke roosterstroom vloeien, die verschillende oorzaken kan hebben.

Ten eerste zal er in de „kneep" van een normale radiobuis, d.i. de glazen drager der verschillende electroden, een zekere lek optreden tusschen het rooster en een of meer der andere electroden. Deze zwakke lekstroom kan in de gangbare radio- en versterkerschakelingen toegelaten worden, maar is meestal ontoelaatbaar bij het gebruik van een triode als electrometer.

Ten tweede is niet te vermijden, dat een vacuumbuis, in plaats van absoluut luchtledig te zijn, een kleine gasrest bevat. Worden nu gasmoleculen door de anodestroom geïoniseerd, dan worden de positieve ionen naar de electrode met de laagste potentiaal, dat is het stuurrooster, getrokken en daar geneutraliseerd. Dit komt overeen met een roosterstroom.

Ten derde kan het stuurrooster een zekere thermische electronenemissie bezitten, omdat het door de gloeiende kathode vrij sterk wordt verwarmd en bovendien in sommige gevallen tengevolge van verdamping van het kathodeoppervlak plaatselijk met een goed emitteerende stof wordt bedekt. Behalve de thermische emissie kan ook een foto-electrische electronenemissie optreden tengevolge van licht, dat op het rooster valt en tengevolge van weeke röntgenstralen, die afkomstig zijn van de door electronen getroffen anode.

De totale roosterstroom, die als gevolg van de verschillende hier genoemde oorzaken optreedt, is reeds bij normale versterkerbuizen kleiner dan 0,1 microampere. Voor sommige electrometrische toepassingen is deze isolatie van het stuurrooster reeds voldoende. Om echter aan de veel hoogere eischen te kunnen voldoen, die in bepaalde gevallen moeten worden gesteld, werd een speciale electrometertriode geconstrueerd, waarin maatregelen zijn getroffen om de roosterstroom nog belangrijk kleiner te maken.

Constructie van de electrometertriode

In *fig. 1* is de constructie van de Philips electrometertriode, type 4060, weergegeven. Men ziet, hoe het rooster bevestigd is op twee lange glazen staven, waardoor een zoo lang mogelijke weg voor kruipstroomen ontstaat. Om deze eenvoudige bevestiging mogelijk te maken werden stuurrooster en anode anders geplaatst, dan bij versterkertrioden gebruikelijk is, nl. aan weerskanten van de gloeidraad. Beide electroden zijn uitgevoerd als vlakke

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

plaatjes. De toevoerdraad naar het rooster is aan de top van de ballon door het glas gevoerd, dus op een plaats zoo ver mogelijk verwijderd van de doorvoeren der andere electroden. Wanneer de buitenzijde van de ballon goed gereinigd en droog is, is de lekstroom over het glas van de steunen en van de ballon geheel te verwaarloozen.

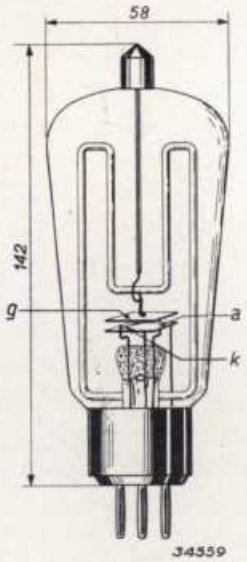


Fig. 1. Constructie van de electrometertriode 4060. *k* kathode, *g* stuurrooster, *a* anode. Het stuurrooster is gemonteerd op lange glazen staven; de doorvoer van de roostertoevoerdraad bevindt zich aan de top van de buis. Op deze wijze is een zeer goede isolatie verkregen.

Ook wat thermische emissie betreft, is de beschreven plaatsing van het stuurrooster gunstiger dan de gebruikelijke opstelling, omdat de temperatuur van het rooster dank zij de groote warmtestraling van de vlakke plaat laag wordt gehouden. Foto-electrische emissie zal men in het algemeen niet afzonderlijk behoeven tegen te gaan, omdat de meestal toch aanwezige afscherming tegen uitwendige electrische velden reeds zorgt voor een voldoende afscherming van licht. De belichting van het rooster door de gloeiende kathode is tegengegaan door een oxyde-kathode te gebruiken, die bij zeer lage temperatuur emitteert.

Tenslotte is een aanzienlijke vermindering van de door ionen en röntgenstralen veroorzaakte roosterstroom verkregen door de anodespanning zeer laag te kiezen, nl. gelijk aan 6 V. Bij deze spanning worden nog geen ionen gevormd, omdat de energie, die een electron bij het doorloopen van een potentiaalverschil van 6 V verkrijgt, niet voldoende is om een atoom van het gas te ioniseeren, terwijl ook de röntgenstralen, die bij deze spanning worden opgewekt, veel zwakker zijn dan bij de gebruikelijke anodespanningen van ongeveer 250 V.

Het resultaat van deze maatregelen komt tot uitdrukking in de buiskarakteristiek, die in *fig. 2* is weergegeven. Zooals men ziet, wordt de totale roosterstroom vrijwel nul, wanneer de anodestroom nul wordt. Hieruit kan men concludeeren, dat de lekstroom over het glas te verwaarloozen is ten opzichte van de stroomen, die met de anodestroom samenhangen. Bij normale roosterspanningen is de roosterstroom van de orde van 10^{-15} A [1]), d.i. zeker 10^6 maal kleiner dan hetgeen men bij buizen van de gewone constructie kan verwachten.

De verdere eigenschappen van de electrometertriode 4060 zijn hieronder aangegeven:

Gloeispanning	ca. 0,7 V	(Wordt voor elk exemplaar nauwkeurig aangegeven)
Gloeistroom	ca. 0,6 A	
Anodespanning	max. 6 V	
Steilheid	25 μA/V	
Versterkingsfactor	1	
Roosterstroom	$<10^{-14}$ A	

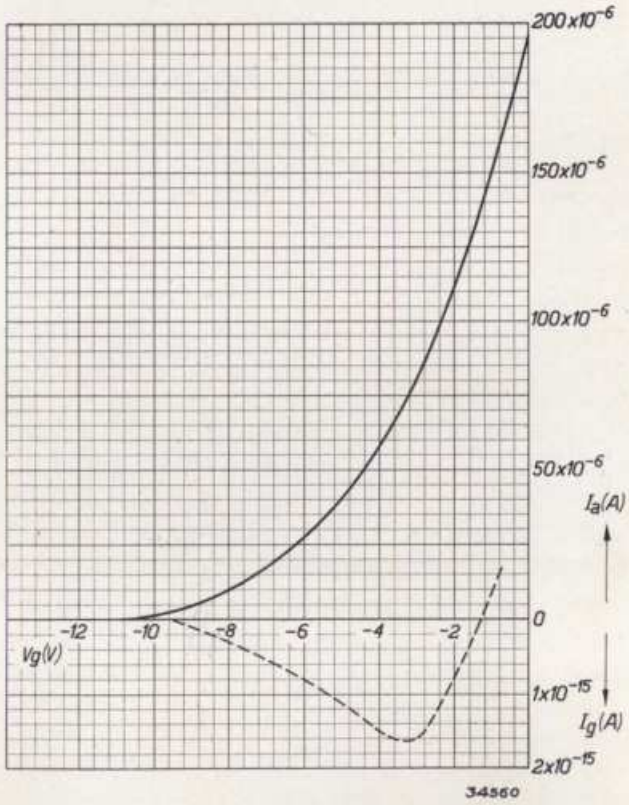


Fig. 2. Roosterstroom en anodestroom als functie van de roosterspanning voor een anodespanning van 4 V. Bij negatieve roosterspanningen is de roosterstroom kleiner dan 10^{-14} A. Voor een bepaalde negatieve roosterspanning is de roosterstroom exact nul.

Schakeling van de electrometertriode

In de meeste schakelingen wordt de electrometertriode als nulindicator gebruikt. De te meten spanning wordt gecompenseerd door een variabele

[1]) Om eenig idee te geven van de kleinheid van deze stroom, vermelden wij, dat dit overeenkomt met 6000 electronen per seconde.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

en afleesbare tegenspanning. Beide spanningen liggen in serie in de roosterketen van de electrometertriode. Blijft er door onvolledige compensatie een spanningsoverschot bestaan, dan uit zich dit in de anodestroom. Men kan dus de compensatie zoo goed mogelijk instellen, afgaande op de aflezing van de anodestroom.

Deze methode heeft twee voordeelen: In de eerste plaats speelt hierbij de vorm van de karakteristiek: anodestroom als functie van de roosterspanning, geen rol. De gevraagde grootheid volgt uit een directe aflezing van de compensatiespanning, en de steilheid van de buis heeft alleen invloed op de nauwkeurigheid, waarmee de compensatie kan worden ingesteld.

In de tweede plaats behoudt nu de eigenlijke spanning aan het rooster steeds ongeveer dezelfde waarde, onafhankelijk van de spanning, welke gemeten wordt. Men kan er dus voor zorgen, dat blijvend gewerkt wordt bij een spanning, waarbij geen roosterstroom vloeit (zie fig. 2) en waarbij dus de meting een volkomen electrostatisch karakter heeft.

Een tamelijk algemeen gehouden schema voor het meten van spanningen volgens de compensatiemethode is in *fig. 3* aangegeven. De roosterspanning V_g wordt ongeveer ingesteld op het bedrag, waarbij geen roosterstroom vloeit. Dit bedrag is op de volgende wijze empirisch te bepalen. Wanneer men het rooster van de triode geheel geïsoleerd, zg. „zwevend" laat, neemt het automatisch de bedoelde spanning aan. Immers, zou die spanning er aanvankelijk niet zijn, dan zullen zoolang electronen toe- of afvloeien, totdat juist de spanning bereikt wordt, waarbij de stroom nul wordt, en daarna blijft de toestand stationnair. In fig. 3 wordt de schakelaar op de geïsoleerde middenstand S_1 gebracht, waarna het rooster de bedoelde spanning aanneemt. Nu wordt de daarbij behoorende anodestroom afgelezen en vervolgens wordt, met de schakelaar in de stand S_0, V_g zoo ingesteld, dat

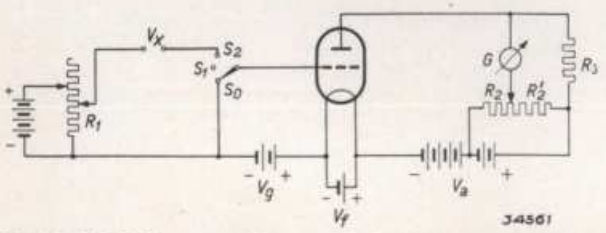


Fig. 3. Schakeling voor het vergelijken van een te meten spanning met een nauwkeurig bekende compensatiespanning (afkomstig van R_1). De galvanometer is zg. „stroomloos" geschakeld, dwz. de potentiometer R_2-R_2' wordt zoo ingesteld, dat de galvanometer nul aangeeft, wanneer de behalve V_g aan het rooster toegevoerde spanning nul is. Dit laatste is het geval, wanneer de schakelaar op S_0 is geplaatst, of wanneer (met de schakelaar op S_2) de juiste compensatie verkregen is.

weer de zoojuist afgelezen anodestroom verkregen wordt.

Geheel links is in serie met de te meten spanning V_x de weerstand R_1 geteekend, waarvan de compensatiespanning wordt afgetakt. De aftakking op R_1 moet nu bij de meting zoo worden ingesteld, dat de anodestroom niet verandert, wanneer de schakelaar van de onderste in de bovenste stand (S_2) wordt gebracht. V_x is dan gelijk aan de gebruikte compensatiespanning, die men kent uit het afgetakte weerstandsgedeelte van R_1, waar een nauwkeurig bekende stroom doorheen vloeit. In de regel wordt deze inrichting geijkt door een normaalelement te schakelen in de plaats van de te meten spanning V_x.

Om ten behoeve van een nauwkeurige compensatie zeer kleine stroomvariaties te kunnen aflezen, past men in de anodeketen een schakeling toe, waarbij de ruststroom buiten de galvanometer blijft. De anodestroom loopt door de weerstand R_3 en veroorzaakt daaraan een zeker spanningsverval, zoodat de spanning aan de anode lager is dan die van de anodebatterij. Aan de onderste klem van de galvanometer G kan men nu door een instelbare aftakking op de potentiometer R_2-R_2' dezelfde spanning toevoeren, zoodat G stroomloos is. Verandert echter de anodestroom, dan wordt het evenwicht verstoord, zoodat een stroom door de galvanometer loopt. Is de inwendige weerstand van de galvanometer en de potentiometer voldoende klein ten opzichte van R_3, dan is deze stroom practisch gelijk aan de verandering van de anodestroom. Men heeft dus de geheele schaal beschikbaar voor het meten van de stroomfluctuaties en kan de galvanometer zoo gevoelig kiezen, als men maar wil, zonder daarbij rekening te houden met de ruststroom.

De meting verloopt nu als volgt: Men brengt eerst de schakelaar in de stand S_0 en stelt de potentiometer R_2-R_2' dusdanig in, dat de stroom door de galvanometer gelijk nul wordt. Schakelt men nu over naar S_2, dan zal in het algemeen een uitslag van de galvanometer optreden. Men regelt nu de potentiometer R_1 zoodanig, dat deze uitslag verdwijnt.

Daar de steilheid van de electrometertriode 25 μA/V bedraagt, zal een fout van 1 mV in de compensatiespanning een anodestroomvariatie van 0,025 μA veroorzaken, een waarde, die met een betrekkelijk eenvoudig instrument aangewezen kan worden. In de practijk is de nauwkeurigheid echter niet alleen gegeven door de gevoeligheid van de galvanometer, maar ook door de stabiliteit van de schakeling. Wanneer nl., bijv. door een fluctuatie van de temperatuur van de kathode, de anodestroom iets verandert, dan wordt het evenwicht van

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

de galvanometerschakeling verstoord. Dit verloopen kan in de meting van de compensatiespanning een fout van eenige honderdsten volt veroorzaken en dus veel belangrijker zijn dan de fout, veroorzaakt door de gevoeligheidsgrens van de galvanometer. Gelukkig geschiedt dit verloopen in het algemeen heel geleidelijk, zoodat het van weinig belang is, mits men slechts de meting in de stand S_0 en in de stand S_2 voldoende snel na elkaar uitvoert.

Hinderlijk zou dit verloopen echter worden, wanneer een geheele serie metingen verricht moet worden van een spanning, die zelf langzaam varieert. Men zou dan door de fluctuatie gedwongen zijn telkens opnieuw de nulstand van de galvanometer te noteeren of in te stellen op éénzelfde waarde.

Daar de fluctuaties hoofdzakelijk veroorzaakt worden door schommelingen van de gloeistroom, kan een aanzienlijke verbetering verkregen worden, door de spanning van de gloeistroombatterij zorgvuldig constant te houden. Een eenvoudige schakeling, waarmee dit bereikt kan worden, is in *fig. 4* weergegeven en in het onderschrift nader verklaard.

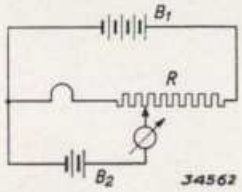


Fig. 4. Schakeling, waarmee de spanning van de gloeistroombatterij constant wordt gehouden. De gloeidraad wordt gevoed door de batterij B_1; de batterij B_2 wordt door instellen van de potentiometer R stroomloos gemaakt. Verandert echter de spanning van B_1, dan wordt het ontbrekende gedeelte door B_2 aangevuld. Daar B_2 zeer weinig belast wordt, is de spanning van deze batterij zeer goed constant.

In schakelingen, waar de electrometertriode niet als nulindicator dient, maar als werkelijke meter, is het probleem van het verloopen nog belangrijker. Dan kan men de invloed van eventueele spanningsschommelingen voor een groot gedeelte elimineeren door gebruik te maken van de in *fig. 5* weergegeven schakeling [2]). Deze schakeling, hier toegepast voor het meten van een fotostroom, is zoo ingericht, dat eventueele schommelingen van een of andere batterijspanning geen aanleiding geven tot een verandering van de stroom door de galvanometer, omdat bij dergelijke schommelingen de potentiaal van beide aansluitingen van de galvanometer evenveel varieert.

De schakeling bevat twee identieke electrometertrioden, waarvan de gloeidraden parallel zijn geschakeld. Het te meten spanningsverval V_x wordt op het rooster van de eerste electrometertriode gezet.

[2]) J. F. H. Custers, Z. techn. Phys. **14**, 153, 1933.

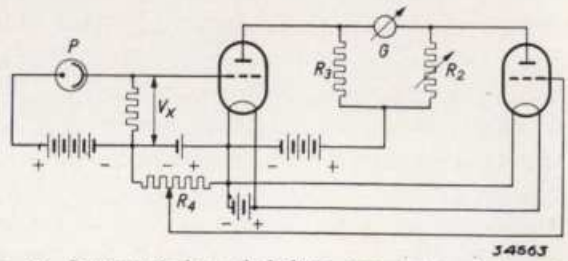


Fig. 5. Symmetrische schakeling van twee electrometertrioden. Komt tusschen de klemmen V_x een spanning te staan, dan slaat de galvanometer G uit. Variaties van de batterijspanningen werken in beide anodeketens in dezelfde mate, zoodat zij de galvanometer niet doen uitslaan.

In de anodekring van deze electrometertriode is de galvanometer geschakeld op een wijze, die in principe overeenkomt met fig. 3, alleen is de weerstand R_2' vervangen door de inwendige weerstand van de tweede electrometertriode.

Door middel van de potentiometer R_4 wordt de roosterspanning van de tweede buis zoo ingesteld, dat beide buizen bij afwezigheid van een meetspanning ongeveer dezelfde anodestroom hebben [3]). Door fijn regelen van de weerstand R_2 (die ongeveer met R_3 overeenstemt) wordt tenslotte de galvanometer stroomloos gemaakt.

Beide buizen werken nu practisch onder gelijke omstandigheden. Zij hebben dezelfde batterij voor de gloeistroom, de roosterspanning en de anodespanning. Mocht in één van de batterijspanningen een verandering optreden, dan heeft dit op beide buizen dezelfde invloed, en het is zeer waarschijnlijk, dat de beide anodestroomen gelijk blijven en dus ook de galvanometer stroomloos blijft. Alleen wanneer aan de eerste buis een meetspanning wordt toegevoerd, wordt het evenwicht verbroken en krijgt G een uitslag.

Het verloopen wordt door toepassen van deze schakeling wel teruggebracht tot ongeveer het tiende gedeelte.

Toepassingen van de electrometertriode

Zooals gezegd, kan de electrometertriode in het algemeen in elke opstelling gebruikt worden, waar anders een electrometer gebruikt zou zijn. Er zijn echter eenige groepen van metingen, waarbij de electrometertriode zich in de loop van de tijd een eigen plaats heeft veroverd. Deze zullen hier afzonderlijk worden behandeld.

p_H-metingen

De grootheid p_H is een maat voor de waterstofionen-concentratie c in een oplossing en wel is $p_H = -\lg c$. Metingen van p_H worden in chemische

[3]) Wanneer de trioden onderling iets verschillen, neemt men, om dit te kunnen doen, voor de tweede triode die, welke bij dezelfde roosterspanning de lagere anodestroom heeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

laboratoria, bij de keuring van voedsel en landbouwproducten, bij medisch onderzoek enz. herhaaldelijk verricht.

De het meest toegepaste methode om p_H te meten, maakt gebruikt van het feit, dat de potentiaal van speciale electroden, die in de oplossing worden gedompeld, evenredig met p_H verandert. Onder de verschillende electroden, die deze eigenschap vertoonen, is de zg. glaselectrode wel een van de meest geschikte. Naast bepaalde voordeelen heeft deze electrode echter de minder gewenschte eigenschap, dat haar inwendige weerstand zeer hoog is, nl. van de orde van 10^7 ohm.

Om de EMK van een spanningsbron met deze hooge inwendige weerstand te bepalen, is een electrostatische meetmethode aangewezen. Meestal gebruikt men de in fig. 3 weergegeven compensatieschakeling, waarbij dus in plaats van V_x een electrolytische cel met een glaselectrode moet worden gezet. Meet men de potentiaal op 1 mV nauwkeurig, dan bepaalt men p_H met een nauwkeurigheid van 1,7 honderdste eenheden [4]), hetgeen voor de meeste practische toepassingen ruimschoots voldoende is.

Een gevoeligheid van 1 mV is gemakkelijk te bereiken, zooals boven reeds werd uiteengezet. Gaan wij na, in hoeverre het meetresultaat door de resteerende roosterstroom zou kunnen worden beïnvloed, dan vinden wij, dat het volstrekt niet noodig is om de electrometertriode op een bijzonder gunstig punt te laten werken, immers de maximale roosterstroom is in een groot gebied van roosterspanningen kleiner dan 10^{-14} A en bij deze stroomsterkte zou aan een electrode met een inwendige weerstand van 10^7 ohm slechts een spanningsverlies van $^1/_{10000}$ mV optreden.

Stralingsmetingen met de ionisatiekamer

De sterkte van een radioactieve straling kan gemeten worden door haar ioniseerende werking te bepalen. Meestal worden de ionen, die door de straling worden gevormd, geaccumuleerd op een zeer goed geïsoleerde condensator, waarvan dan de spanning met de tijd verandert. Waar men hier te maken heeft met uitermate kleine ladingshoeveelheden, is het weer van belang, dat de gebruikte spanningsmeter practisch geen stroom opneemt. Aangezien de electrometertriode een stroom van minder dan 10^{-14} A verbruikt, zal men een ionenstroom van 10^{-12} A nog op 1% nauwkeurig kunnen meten.

Een stroom van 10^{-12} A komt overeen met een radioactiviteit van de orde van 10^{-9} curie, hetgeen reeds een zeer zwakke activiteit is te noemen. Past men hetzelfde instrument toe om röntgenstraling te meten, dan komt bij gebruik van een voldoend gevoelige ionisatiekamer een stroomsterkte van 10^{-12} A overeen met een zoo kleine stralingsintensiteit, dat deze ook bij jarenlang onafgebroken bestraling beneden de tolerantiedosis is gelegen. In beide gevallen is dus de roosterstroom van de electrometertriode onschadelijk, zoodat het niet noodig is om het werkpunt zoodanig te kiezen, dat de roosterstroom precies gelijk nul is.

Bij een derde belangrijke toepassing van de ionisatiekamer, nl. het meten van hoogtestraling, zijn de ionenstroomen, die verkregen kunnen worden, veel kleiner, nl. van de orde van 10^{-14} A. Hierbij kan de roosterstroom bij willekeurige instelling van de roosterspanning in het algemeen niet verwaarloosd worden. Men kan echter volgens een methode, die door Prof. Clay is aangegeven [5]), gedurende het meten de roosterstroom vrijwel nul houden.

Deze zelfde methode werd ook in dit laboratorium gebruikt voor het meten van zeer zwakke fotostroomen en is in dit tijdschrift uitvoerig beschreven [6]). In de daarbij aangegeven schakeling kan zonder meer de fotocel vervangen worden door een ionisatiekamer.

Zooals gezegd kunnen al deze metingen ook met een normale electrometer worden verricht, en is het voordeel van de electrometertriode vooral de groote robustheid van de opstelling. Bij de aangehaalde metingen van Clay werd o.a. aan boord van een schip gemeten en zelfs werd de ionisatiekamer met electrometertriode tot op aanzienlijke diepte onder de zeespiegel neergelaten.

Het meten van fotostroomen

Een fotocel levert een stroom, die evenredig is met de invallende lichtflux en die bijv. enkele tientallen microampere per lumen bedraagt. Bij verschillende metingen wordt de lichtflux zoo gering, dat men speciale hulpmiddelen moet gebruiken om de fotostroom te kunnen meten. Dit is onder anderen het geval bij het fotometreeren van sterren of van lijnen in een spectrum [7]).

[4]) De potentiaal van een glaselectrode bij kamertemperatuur is op een constante na $-0{,}058\ p_H$ volt. Een verandering van de potentiaal met 1 mV komt dus overeen met een verandering van p_H met 0,017 eenheden, hetgeen beteekent, dat de waterstofionenconcentratie met 4% verandert.

[5]) J. Clay, Physica **4**, 124 en 654, 1937.

[6]) P. M. van Alphen, Philips techn. T. **4**, 71, 1939.

[7]) Een ster van de eerste grootte levert een verlichtingssterkte van 10^{-6} lux. Heeft de telescoop bijv. een lens (resp. spiegel) van 40 cm diameter, dan verkrijgt men een lichtstroom van 10^{-7} lumen. Zulke kleine en zelfs nog kleinere lichtstroomen treden ook op bij het spectraal fotometreeren van lichtbronnen, zie hierover het reeds in noot [6]) aangehaalde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 10/29/2023

Wij kunnen de meting van de fotostroom op dezelfde wijze uitvoeren als de meting van de stroom door een ionisatiekamer, waarbij de spanning wordt bepaald op een condensator, die door de stroom wordt geladen. Wat de schakeling betreft kunnen wij verwijzen naar het in noot [6]) aangehaalde artikel, waarin ook de maatregelen zijn besproken, die men moet nemen, om op alle gevoelige plaatsen een voldoend hooge isolatie en een behoorlijke afscherming te verkrijgen.

Zijn de stroomen niet uitermate klein, maar bijv. van de orde van 10^{-13} A, dan kan men ook eenvoudiger te werk gaan. Men kan nl. vloeistofweerstanden samenstellen van de orde van 10^{9} à 10^{10} ohm. Stroomen, die juist te klein worden voor rechtstreeksche metingen met een galvanometer (10^{-10} à 10^{-11} A) leveren aan dergelijke weerstanden spanningen van de orde van 0,1 V. Daar de electrometertriode, zooals we gezien hebben, een spanningsmeting met een nauwkeurigheid van 1 mV mogelijk maakt, verkrijgt men op deze wijze een gevoeligheid van 10^{-13} à 10^{-14} A. Dit is ook ongeveer de gevoeligheidsgrens, die door de resteerende roosterstroomen wordt gesteld.

OVERZICHT VAN RECENTE WETENSCHAPPELIJKE PUBLICATIES DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

1451 - 1453: J. M. Stevels: Koude vlammen (Chem. Wbl. **36,** 638-642, 654-657, 657-663, Sept. 1939).

Dit is een overzicht van theorie en practijk der vlammen, zooals die optreden in uiterst verdunde gassen en zich onderscheiden van gewone vlammen door het ontbreken van een ontstekingstemperatuur. Teneinde een dergelijke, zg. koude vlam ook koud te houden, is het noodig de door de optredende reacties ontwikkelde warmte zoo snel af te voeren, dat de temperatuur hierdoor niet merkbaar stijgt. Een koude vlam is een zeer geschikt medium voor het onderzoeken van reactiesnelheden en ook van de aard der chemische binding in het algemeen, zooals in het laatste artikel nader wordt uiteengezet.

1454: J. Boeke und H. van Suchtelen: Direkte chemische Schnellanalyse mit der Quecksilbertropfelektrode (Z. Elektrochem. **45,** 753-756, Oct. 1939).

Voor de inhoud van dit artikel vergelijke men: Philips techn. T. **4,** 243, 1939.

1455: J. H. Gisolf: The dielectric losses of irradiated zincsulfide-phosphors (Physica **6,** 918-928, Oct. 1939).

In het absorptiespectrum van ZnS-MnS kunnen drie verschillende gebieden worden onderscheiden: 1) de langgolvige absorptiebanden van het mangaanion; 2) de absorptie van het kristalrooster ZnS; 3) de langgolvige uitlooper van de absorptie van het kristalrooster. Een ZnS-MnS-fosfor werd blootgesteld aan electrische wisselvelden van 10^{3} tot $1{,}5 \cdot 10^{7}$ per/sec en tegelijkertijd met licht van één der drie absorptiegebieden bestraald. Nagegaan werd, hoe daarbij de diëlectrische constante en de diëlectrische verliezen veranderen. Bij bestralen met licht van het absorptiegebied 1), waarbij de mangaanionen zelf worden aangeslagen, vindt men geen verandering van de diëlectrische eigenschappen. Bestraalt men echter in de absorptiegebieden 2) en 3), dan veranderen die diëlectrische eigenschappen wel degelijk, hetgeen beteekent, dat de absorptie gepaard gaat met een verplaatsing van ladingen. Het verloop van de diëlectrische verliezen als functie van de frequentie van het wisselveld vertoont bij bestraling met licht van het absorptiegebied 2) een heel normale gedaante; bij bestraling in het absorptiegebied 3) daarentegen is dit verloop vrij gecompliceerd. — Uit de gemeten verandering van de diëlectrische eigenschappen berekent men bij 3100 Å voor de absorptiecoëfficient $\mu = 5 \cdot 10^{4}$.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!